

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# Sistema de detección y evasión de especies depredadoras en entornos ganaderos



Grado en Ingeniería  
en Tecnologías de Telecomunicación

## Trabajo Fin de Grado

Óscar Julen Del Río Gómiz  
Francisco Javier Falcone Lanas  
Pamplona, 12 de Junio del 2020





# RESUMEN

En este proyecto se analiza la situación actual de la tecnología IoT, su relación con el mundo ganadero y los elementos que lo componen, desde los sensores y actuadores hasta las pasarelas de conexión. Asimismo, también se detallan las diferentes tecnologías inalámbricas utilizadas en sistemas IoT y sus diferencias junto con los fabricantes más destacados.

Además, se analizan los comportamientos depredador-presa con el fin de entender sus movimientos y las diferentes soluciones comerciales existentes en el mercado relacionadas con el objetivo del proyecto.

Por último, se realiza un montaje de un prototipo de sistema de detección y evasión de depredadores mediante diferentes componentes y con tecnología IoT, explicando su proceso y presupuesto.

# ABSTRACT

This project analyzes the current situation of IoT technology, its relationship with the livestock world and the elements that compose it, from sensors and actuators to gateways. Likewise, the different wireless technologies used in IoT systems and their differences are also detailed along with the most prominent manufacturers.

In addition, predator-prey behaviors are analyzed in order to understand their movements and the different commercial solutions existing in the market related to the objective of the project.

Lastly, a prototype of a predator detection and evasion system is assembled using different components with the IoT technology, explaining its process and budget.



# INDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Estado del Arte.....</b>	<b>12</b>
2.1 Situación actual.....	12
2.1.1 Ciudades inteligentes .....	14
2.1.2 Industria.....	15
2.1.3 Domótica .....	16
2.1.4 Automóviles .....	17
2.1.5 Eficiencia energética .....	18
2.2 IoT y entorno ganadero .....	20
2.3 Elementos en un sistema IoT .....	24
2.3.1 Sensores.....	25
2.3.1.1 Sensor de proximidad .....	26
2.3.1.1.1 Capacitivos.....	26
2.3.1.1.2 Inductivos.....	28
2.3.1.1.3 Ultrasónico.....	28
2.3.1.1.4 Magnéticos .....	29
2.3.1.1.5 Fotoeléctricos.....	30
2.3.1.1.5.1 Tipo barrera.....	31
2.3.1.1.5.2 Tipo retroreflectivo .....	31
2.3.1.1.5.3 Tipo reflectivo directo .....	32
2.3.1.2 Acelerómetros .....	33
2.3.1.3 Sensor de temperatura .....	34
2.3.1.3.1 Termistor.....	35
2.3.1.3.1.1 NTC .....	35
2.3.1.3.1.2 PTC.....	36
2.3.1.3.2 RTD.....	36
2.3.1.3.3 Termopar .....	37
2.3.1.3.3.1 Tipo K.....	38
2.3.1.3.3.2 Tipo E.....	38
2.3.1.3.3.3 Tipo J.....	39
2.3.1.3.3.4 Tipo T.....	39
2.3.1.3.3.5 Tipo N .....	39
2.3.1.3.3.6 Tipo B.....	39
2.3.1.3.3.7 Tipo R.....	39

2.3.1.3.3.8 Tipo S .....	40
2.3.1.4 Sensor de presión .....	40
2.3.1.4.1 Piezorresistivo .....	41
2.3.1.4.2 Capacitivo .....	42
2.4.1.4.3 Piezoeléctrico .....	43
2.3.1.4.4 Electromagnético .....	43
2.3.1.4.5 Resonante .....	44
2.3.1.5 Sensor de humedad .....	44
2.3.1.5.1 Mecánicos .....	45
2.3.1.5.2 Conductivos .....	45
2.3.1.5.3 Capacitivos .....	46
2.3.1.5.4 Infrarrojos .....	47
2.3.1.5.5 Resistivos .....	47
2.3.2 Actuadores .....	48
2.3.2.1 Hidráulicos .....	49
2.3.2.2 Neumáticos .....	49
2.3.2.3 Eléctricos .....	49
2.3.3 Dispositivos de gestión .....	49
2.3.3.1 Pasarela o gateway .....	50
2.4 Tecnologías .....	52
2.4.1 Cableadas .....	52
2.4.2 Inalámbricas .....	52
2.4.2.1 LoRaWAN .....	53
2.4.2.2 Zigbee .....	55
2.4.2.3 Z-Wave .....	56
2.4.2.4 Sigfox .....	58
2.4.2.5 WiFi .....	60
2.4.2.6 Bluetooth .....	63
2.4.3 Conclusiones .....	64
<b>3. Fabricantes .....</b>	<b>65</b>
3.1 The Things Network .....	66
3.2 Digi International .....	67
3.3 Z-Wave Alliance .....	67
3.4 Libelium .....	68
<b>4. Comportamiento animal .....</b>	<b>69</b>
<b>5. Soluciones comerciales .....</b>	<b>71</b>

<b>6. Montaje teórico .....</b>	<b>74</b>
6.1 Materiales.....	76
6.1.1 Sensores.....	76
6.1.2 Actuadores .....	80
6.1.3 Gateway.....	82
6.2 Aplicación y pruebas .....	89
6.3 Presupuesto.....	93
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>95</b>
<b>8. Líneas futuras.....</b>	<b>96</b>
<b>9. Bibliografía .....</b>	<b>98</b>



## 1. Introducción

Internet de las cosas, también llamado comúnmente como IOT, del inglés "Internet of things". Podríamos definirlo como la interconexión masiva de dispositivos y objetos virtuales a través la red, la cual comprende diferentes tecnologías que explicaremos más adelante, dónde se produce el intercambio de datos y su correspondiente respuesta.

¿Pero por qué se ha vuelto tan importante y ha crecido tanto en los últimos años? Los motivos son múltiples. Por una parte, podríamos decir que a causa del auge de los teléfonos inteligentes ha provocado que se unifiquen todos los procesos de los dispositivos comunes, como el sistema de seguridad, la temperatura, etc., en un único elemento que los controle a todos, es decir, la finalidad es conseguir ganar comodidad para el usuario.

Otro motivo que podríamos nombrar es lo económico que resultan de crear y fabricar dichos dispositivos, estando al alcance del ciudadano de a pie. Tampoco debemos olvidar la importancia que ha tenido el aumento de disponibilidad de las plataformas en la nube para su auge, datos que tenemos disponibles siempre que queramos sin ocupar un espacio físico que nos perjudique. Y por último, nombraría otra tecnología que va de la mano de la IOT, la inteligencia artificial. Los últimos avances en redes neuronales que se han producido, llevados sobre todo por los grandes magnates Amazon, Apple o Google, en el procesamiento de los diferentes idiomas y gesticulación han mejorado una tecnología que se retroalimenta de la otra. Por una parte, la inteligencia artificial necesita los datos que recogemos desde IOT y esta a su vez da una mejor respuesta gracias a la primera.

Haciendo un análisis en retrospectiva de la evolución de IOT a lo largo de su corta vida, podemos observar la importancia que tiene y en qué sectores se encuentra más presente por la inversión que han realizado. Según IDC [1], uno

de los principales proveedores mundiales de inteligencia del mercado, servicios de consultoría y eventos tecnológicos, en su informe del 2019 la inversión realizada llegando hasta los 745 billones de dólares incluyendo los sectores a los que se destina más inversión. Como nos informan los sectores de manufacturación, transporte e utilidades son de los que más gasto en tecnología IoT han realizado en el curso anterior.

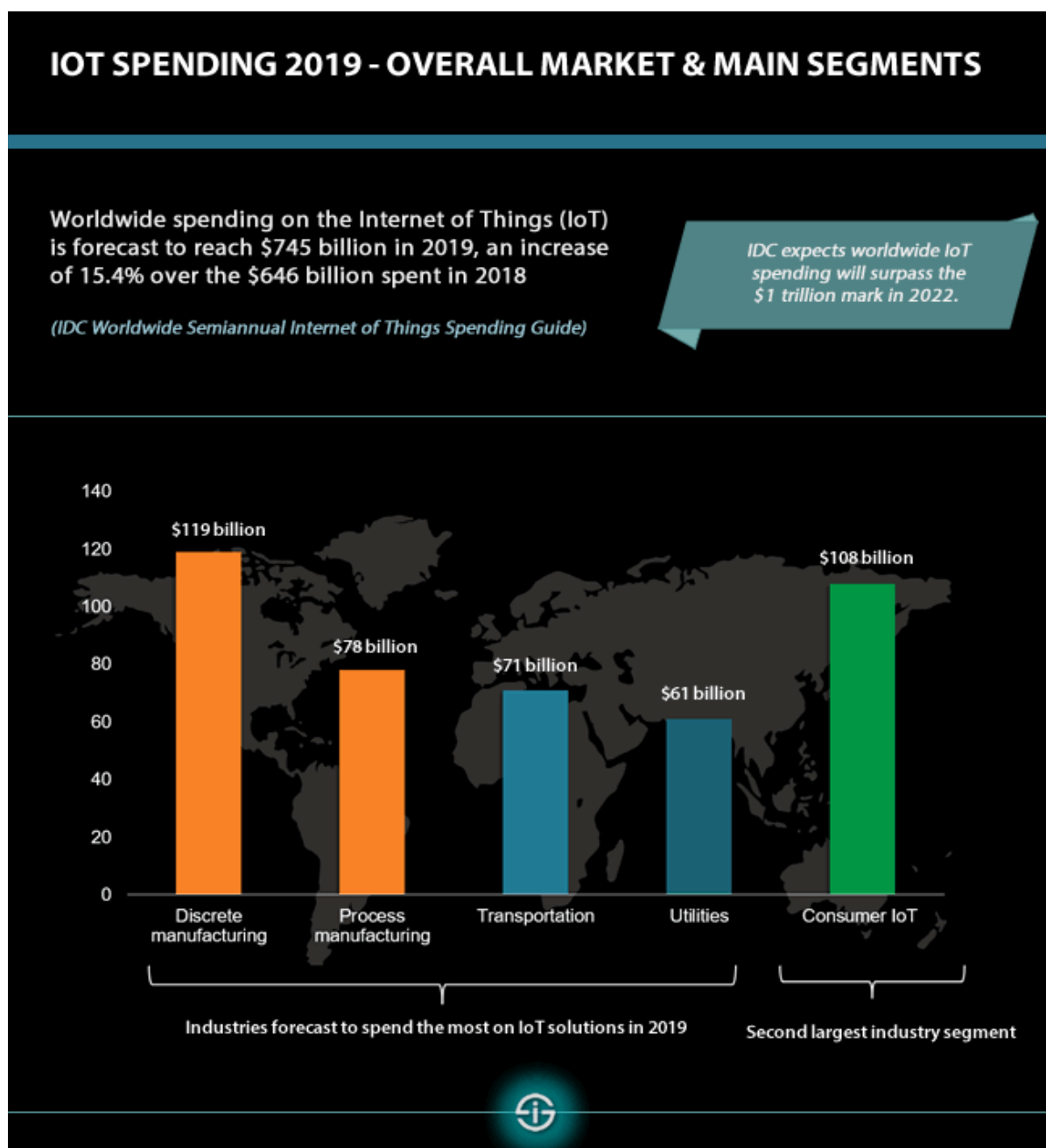


Fig. 1.1 Informe IDC de 2019 acerca de la inversión en IoT y los sectores que destacan entre estos [1]

Continuando con el análisis y acorde al estudio realizado por Gartner [2], una de las principales consultoras de las tecnologías de la información presentes en el mundo, en 2019 destaca la popularidad que tiene IOT en el mercado, colocándose en un segundo puesto. Demostrando la importancia de dicha tecnología en el mercado actual y su demanda.

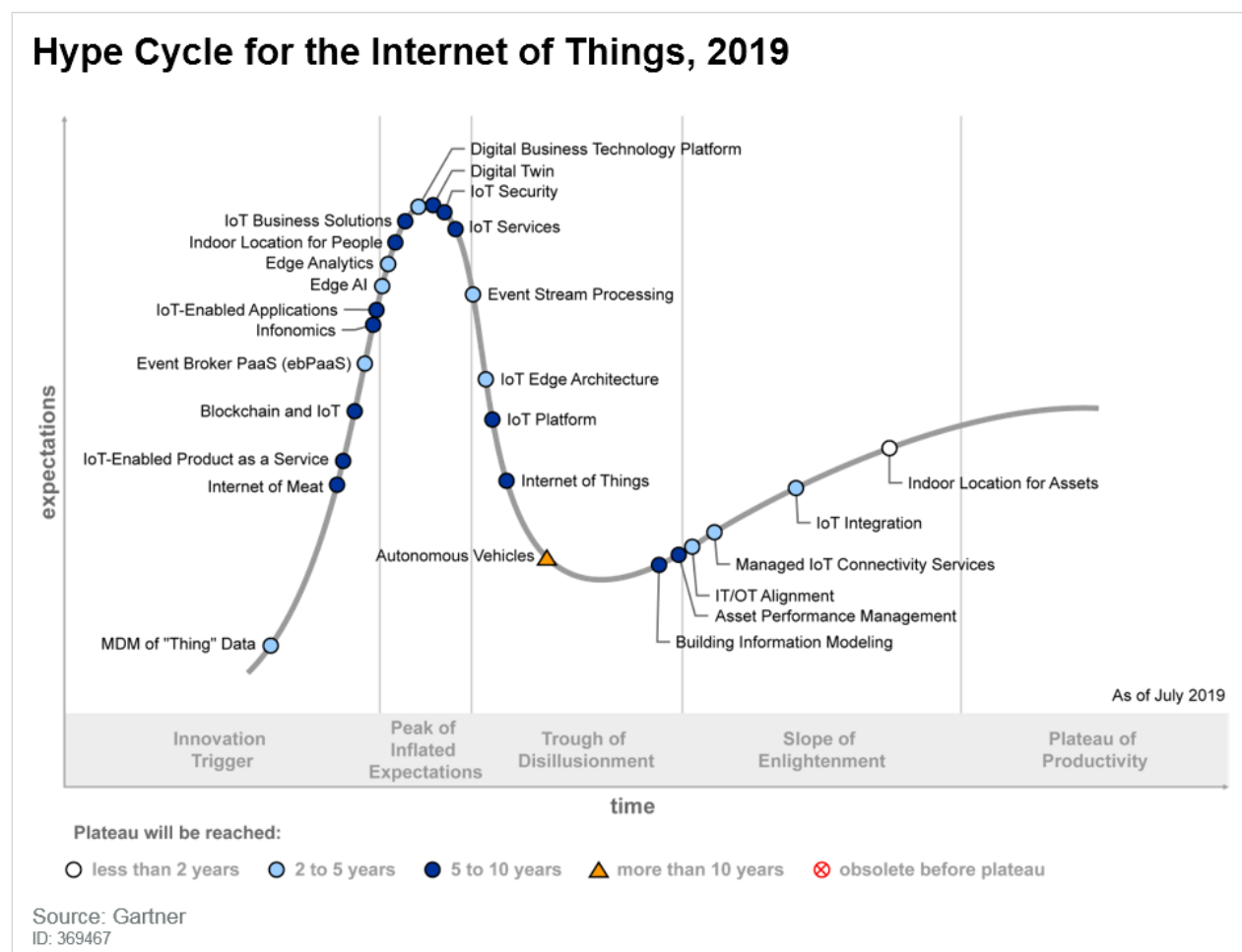


Fig. 1.2 Ciclo de popularidad de la tecnología IoT según Gartner [2]

## 2. Estado del Arte

### 2.1 Situación actual

Nos encontramos en un mundo globalizado en dónde la conectividad se ha vuelto necesaria y vital para su funcionamiento, no sólo a nivel industrial sino también a nivel humano o personal. Y es que según el portal internacional Internet World Stats [3], en 2020 hubieron unos 4.500 millones de usuarios, aproximadamente.

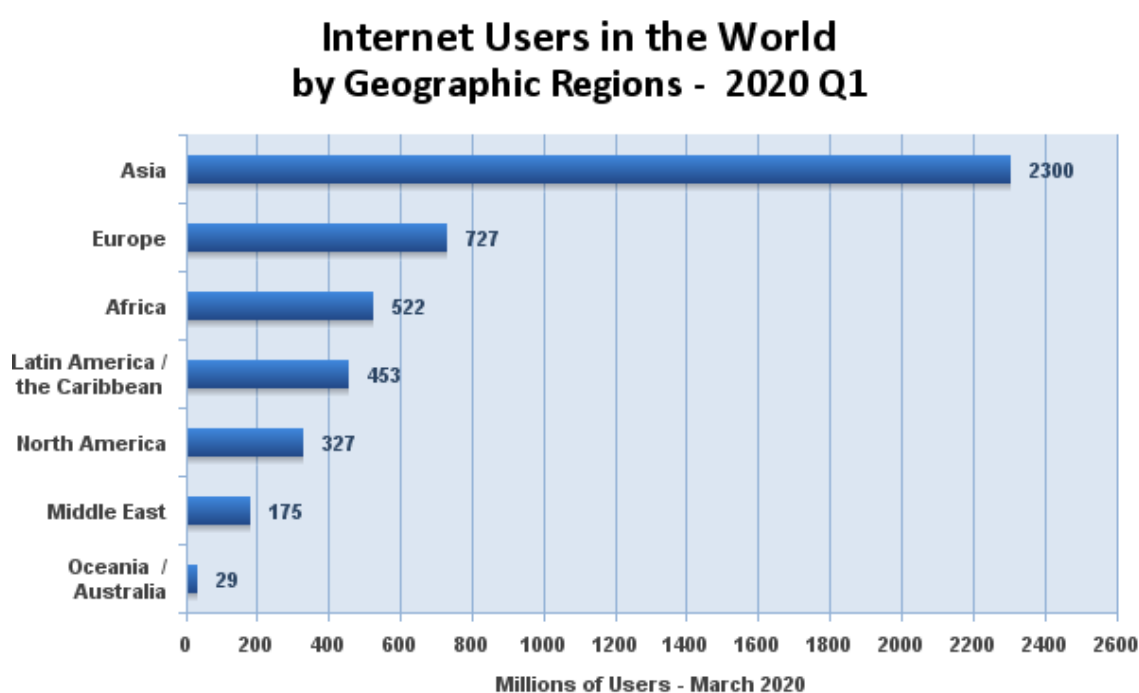


Fig. 2.1 Usuarios de Internet en el mundo [3]

Pero Internet o la conectividad, mejor dicho, ya ha pasado la barrera de conexión de personas para evolucionar hacia la interconexión de objetos o dispositivos. Es aquí cuando nace el concepto de Internet de la cosas, comúnmente conocido como IoT por sus siglas en inglés, Internet of Things. Y es que a pesar que el término se utilizaba desde 1999 en entornos puramente académicos, se hizo popular en 2009 a raíz de unas declaraciones de Kevin Ashton, profesor del MIT, en el RFID Journal.

Aún y con todo, la tecnología IoT es una tecnología muy joven, prácticamente en pañales que ha cambiado radicalmente el mercado. Y esto se debe principalmente porque hace la vida más sencilla, es decir, el objetivo primordial de la tecnología es conseguir cosas que no podíamos hacer antes y hacerlas más fáciles para el ser humano y en ese sentido la tecnología IoT encaja a la perfección.

Esta tecnología se basa en la interconexión de muchos sensores que proporcionan información en tiempo real, que son enviados a un controlador el cual genera unas determinadas ordenes, según le haya programada su diseñador, y son enviadas a unos actuadores que generan una respuesta rápida e instantánea.

Los sensores son diminutos y pueden ser integrados en cualquier objeto, dotándoles de cierta "inteligencia". Además son capaces de captar tal grado de información como nunca antes habíamos sido capaces de hacerlo, convirtiendo mucho más eficaces las respuestas que se puedan generar. A raíz de esto, ha generado diferentes nuevos mercados comerciales entre el que destaca los dispositivos inteligentes o Smart y que se basan gran parte de estos en tecnología IoT.

El uso de esta tecnología está presente en muchos sectores, convirtiéndose incluso en alguno de ellos en indispensable para su óptimo funcionamiento a pesar de ser una tecnología joven. Entre los sectores más importantes que se encuentran presente son los mostrados en la imagen siguiente la cual pertenece a un estudio realizado por IoT Analytics en 2018.

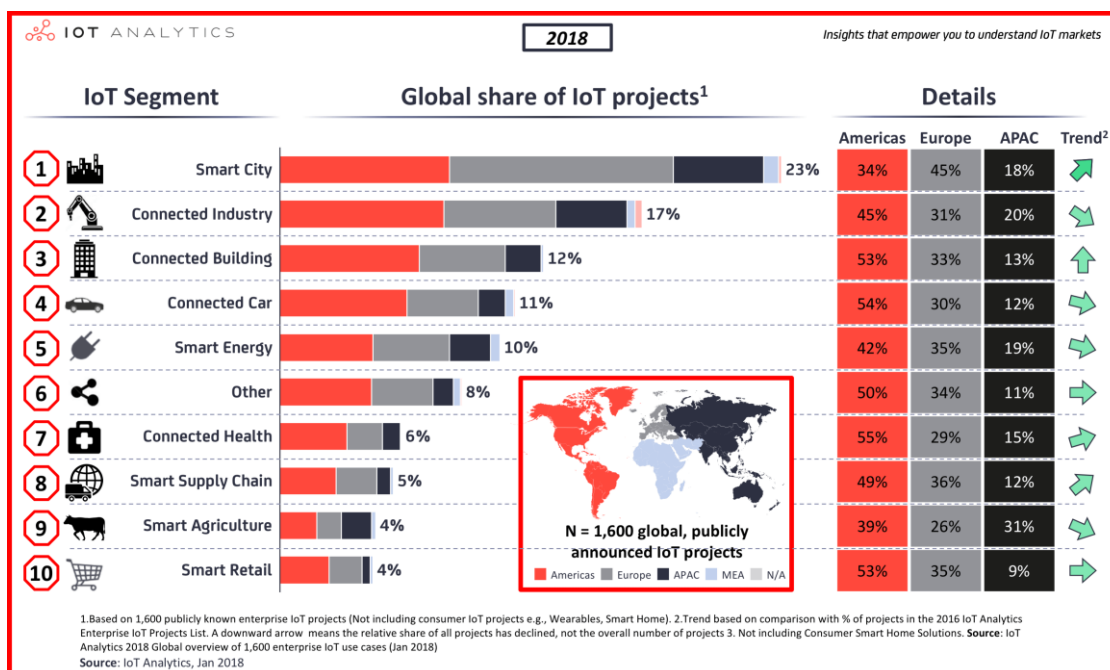


Fig. 2.2 Ranking de los 10 sectores Top con relación en proyectos IoT, según IoT-Analitics [4]

## 2.1.1 Ciudades inteligentes

Según la definición dada por el grupo Técnico de Normalización 178 de AENOR [12], Asociación Española de Normalización y Certificación, dada en el Plan Nacional de Ciudades Inteligentes.

*“Ciudad Inteligente (Smart City) es la visión holística de una ciudad que aplica las TIC para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinar y se adapta en tiempo real a sus necesidades, de forma eficiente en calidad y costes, ofreciendo datos abiertos, soluciones y servicios orientados a los ciudadanos como personas, para resolver los efectos del crecimiento de las ciudades, en ámbitos públicos y privados, a través de la integración innovadora de infraestructuras con sistemas de gestión inteligente.”*

A su vez, también definieron los aspectos por los cuáles una ciudad o poblado pueda ser considerada como ciudad inteligente.

Estos aspectos [13] son:

- Medio ambiente: reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, el uso de fuentes de energías renovables y/o monitorización del consumo energético.
- Vida colectiva: inversión en proyectos culturales e interés ciudadano y proyectos de colaboración.
- Movilidad: desarrollo de las tecnologías que permitan mejorar la movilidad urbana además de rebajar el impacto ambiental que causan.
- Gobernanza: aumento del número de procesos con el fin de la involucración de la ciudadanía sobre asunto públicos de relevancia
- Economía: cooperación entre sectores privado y públicos además de fomentar el desarrollo de incubadoras sociales que permitan la aparición y establecimiento de pequeñas y medianas empresas.
- Ciudadanía: se hará cargo de compartir los datos necesarios además de la seguridad y protección de esos recursos.

## 2.1.2 Industria

A pesar de ser un sector amplio y diverso, la tecnología IoT ha cambiado su manera de trabajar de manera radical haciéndolo más eficientes y teniendo un mayor control sobre el proceso.

Y es que la industria inteligente, o también llamada la industria 4.0, es considerada la cuarta revolución industrial transformando y cambiando lo que conocíamos y como lo hacíamos de manera transversal.

Entre sus principales ventajas, a nivel industrial encontramos:

- Datos instantáneos de todos los procesos
- Mantenimiento predictivo
- Ahorro en tiempo y costes

### 2.1.3 Domótica

El sector más popular y que ha permitido que la tecnología esté tan presente en nuestras vidas es la posibilidad del control inteligente de nuestros hogares. Tal ha sido su expansión en los últimos años que los grandes gigantes empresariales como Google o Samsung no tardaron en adquirir empresas de este sector con el fin de conseguir establecerse como líderes de un nuevo y succulento mercado.

Y es que según datos del Estudio de mercado realizado por CEDOM [5], Asociación Española de Domótica, del año 2018 se puede apreciar en la siguiente gráfica la facturación de los fabricantes de sistemas de control y automatización desde el año 2012 hasta el 2018. En el cual podemos observar un incremento del 174 % en apenas 6 años dentro del territorio nacional.

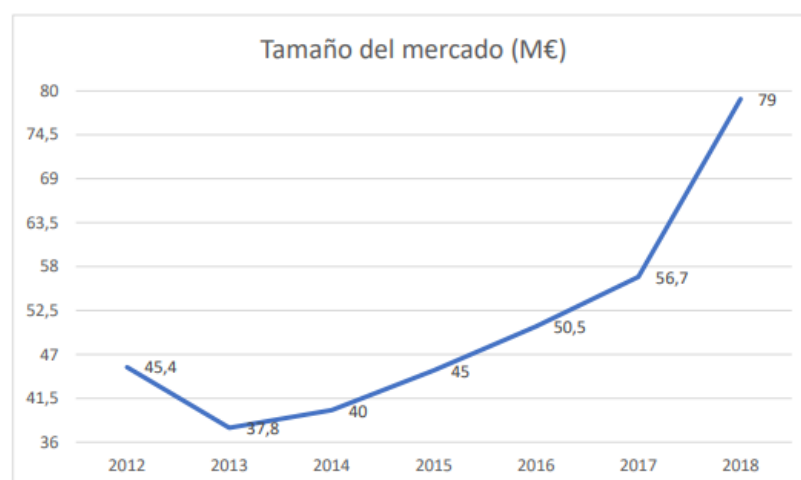
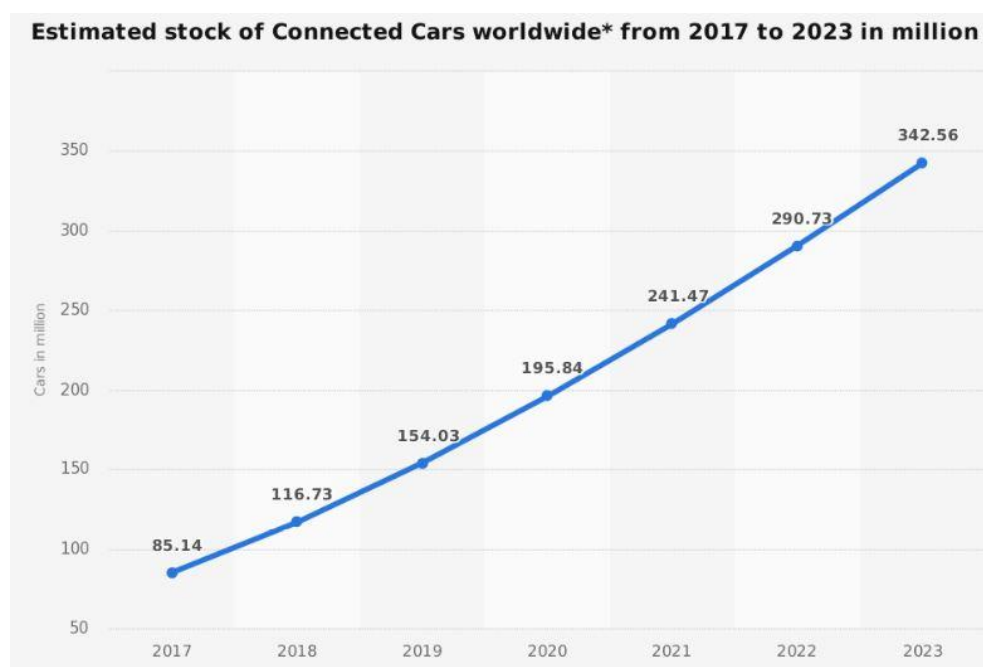


Fig. 2.3 Evolución del sector de la Domótica y la Inmótica en los últimos 7 años [5]



## 2.1.4 Automóviles

El sector automovilístico también ha cambiado radicalmente los productos que ofrecen al público gracias a la tecnología IoT y esto se basa gracias a la cantidad de información que son capaces de obtener y procesar en apenas milisegundos con los que dar una óptima respuesta. Según el portal Statista [6], acerca del número de coches conectados en todo el mundo de 2017 con previsión a 2023 se observa un incremento del 402 %, llegando casi hasta los 350 millones.



**Fig. 2.4** Estimación del número de coches conectados en el mundo de 2017 a 2023 [6]

Además han surgido multitud de nuevos y prometedores proyectos basados en IoT como el coche autónomo, en el cuál no necesitará de conductor humano, ya que todo será realizado por el propio vehículo. A raíz de esto junto con otros factores no es de extrañar el surgimiento de nuevas empresas que apoyan este tipo de modelo "futurista", consolidándose en el sector. Un ejemplo de ello sería el de la empresa automovilística Tesla [7], la cual observamos en el número de coches

entregados desde el 2015 hasta el 2019, según los propios reportes financieros de Tesla. Viendo la gráfica se aprecia la notable subida a partir del tercer cuarto de 2018 incrementándose y manteniéndose en 2019, recalcando el cambio de tendencia de la población hacia esta clase de tecnología.

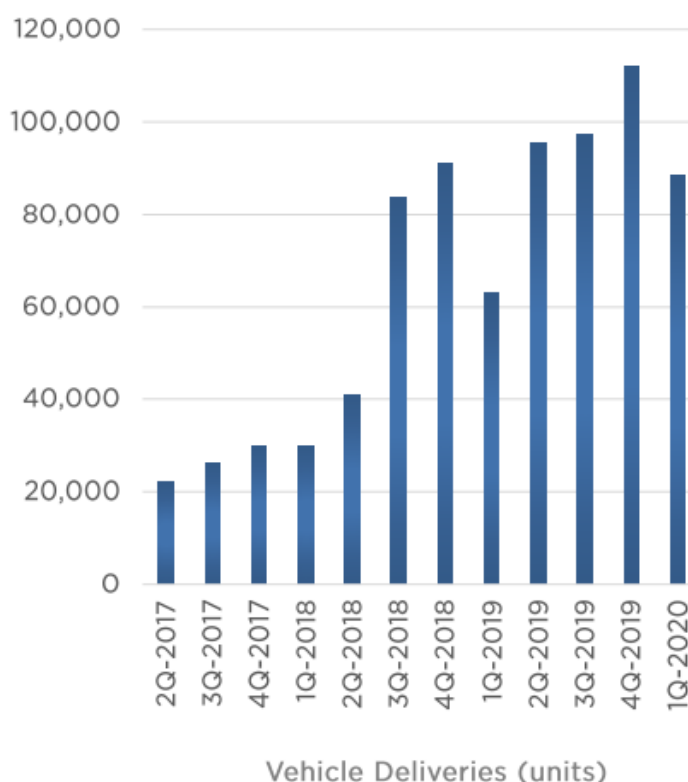


Fig. 2.5 Coches Teslas entregados desde 2017 a 2020, según la propia empresa [7]

## 2.1.5 Eficiencia energética

La eficiencia energética también ha sido un sector muy beneficiado gracias a la tecnología IoT. Esto se debe por la sensorización de todos los procesos, permitiendo conocer en tiempo real el estado y uso de los diferentes elementos, y procesando dichos datos permitiendo una optimización de los recursos y consumos de energía.

Y es que el ahorro realizado supone un gran porcentaje. Según Goldman Sachs, grupo de banca de inversión más potentes del mundo, la aplicación de dispositivos IoT en hogares puede generar un ahorro del 40 % de la energía dentro de un contexto de smart city que ya hemos comentado.

## Servicios EcoSmart\_

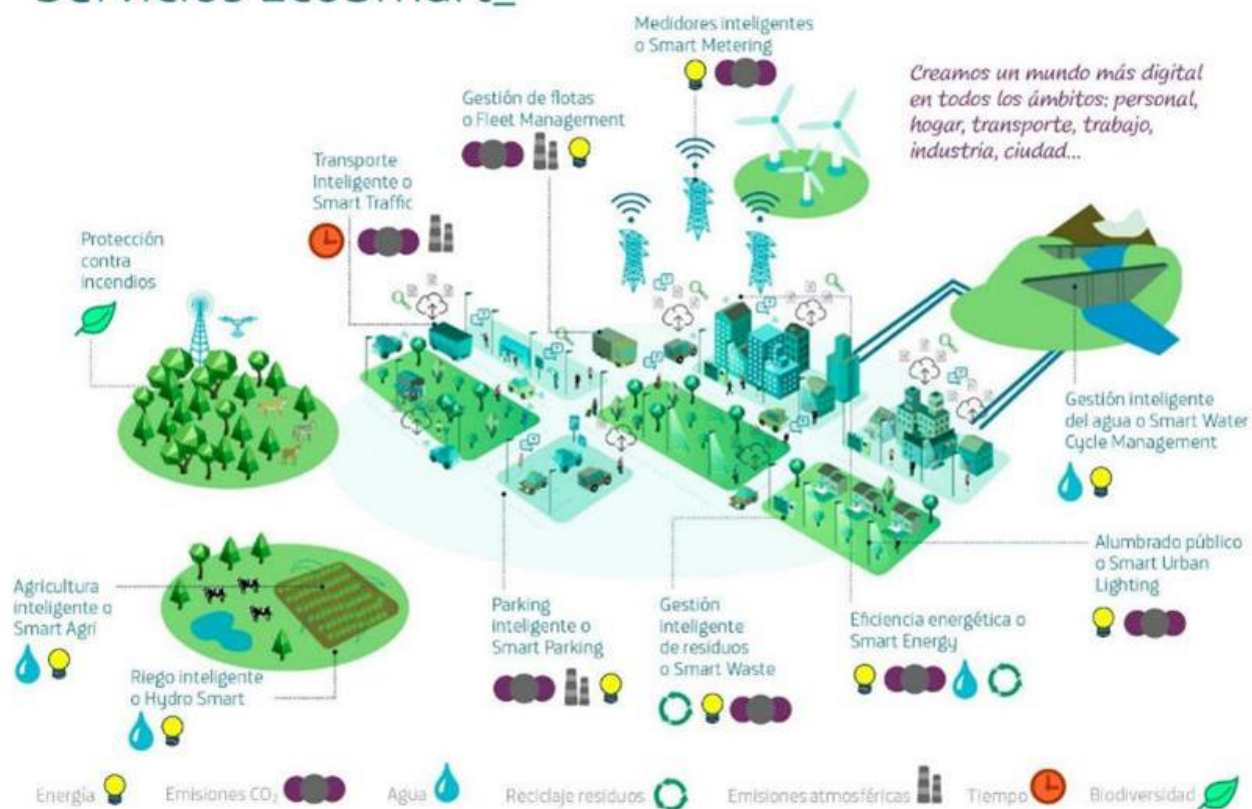


Fig. 2.6 Ejemplos de ahorro energético dentro de una Smart City

Fuente: <https://www.telefonica.com/es/web/public-policy/blog/articulo/-/blogs/3-razones-por-las-que-el-internet-of-things-puede-ayudar-a-salvar-el-planeta>

## 2.2 IoT y entorno ganadero

Adentrándonos en el sector ganadero, el cual siempre ha sido considerado ajeno al de los avances tecnológicos, podemos apreciar como la tecnología IOT ha generado un gran cambio mejorando sus prestaciones y haciéndolo más eficiente.

Según la ONU, Organización de Naciones Unidas [14], recoge que más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas, siendo esta cifra mayor conforme pasan los años. La estimación que realizan sugiere que en 2050 esta cifra habrá aumentado hasta a los 6.500 millones de personas, es decir, dos tercios de la humanidad. Esto está suponiendo un retraso tecnológico para las zonas rurales por su dificultad de conexión, es por ello que el surgimiento de la tecnología IOT supone un gran avance para evitar dicho descalabro.

A partir de esta idea, han surgido multitud de proyectos y soluciones. Según el informe presentado por AgFunder [8], plataforma especializada en inversión de startups de tecnología para el sector AgriFood, correspondiente al 2019 en Europa se han invertido 3.400 millones de dólares, lo que supone un 17% del total mundial.

En cuanto a las áreas del sector dedicadas a la producción, entre las que figuran Ag Biotech, software de gestión de granjas, equipamiento y robótica para granjas, bioenergía y biomateriales, marketplaces para agricultura y alimentación innovadora. Se invirtieron un montante total de 1.100 millones de dólares habiéndose producido una mejora respecto al año pasado de un 22%.

Por otro lado, las áreas del sector AgriFood centradas en el consumidor como son el retail y la restauración, los restaurantes online, las empresas de eGrocery, los marketplaces de restaurantes y las compañías dedicadas al hogar y cocina consiguieron una inversión final de 2.100 millones de dólares generando un incremento del 110% con respecto al año anterior.

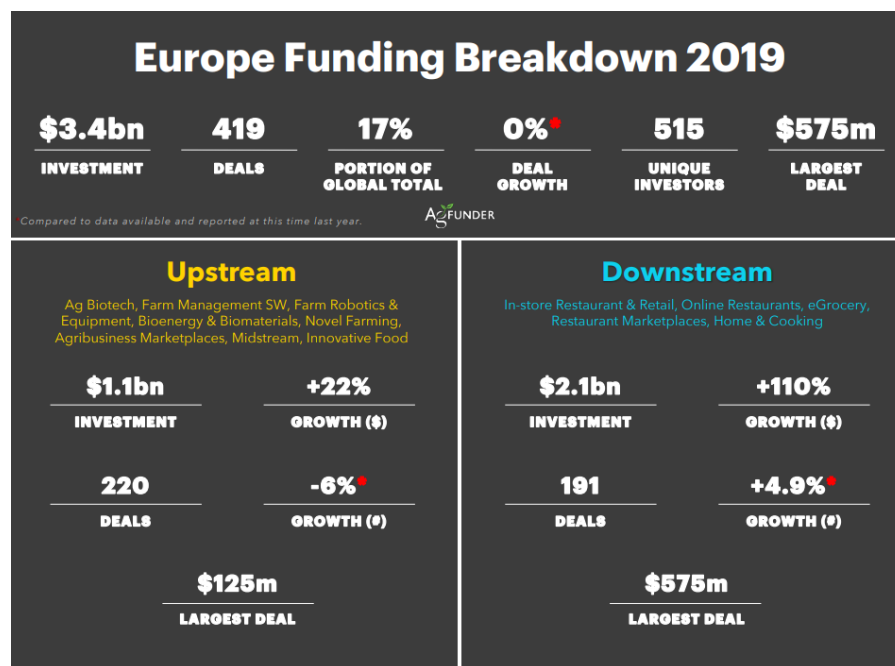


Fig. 2.7 Reporte del primer semestre de AGFunder [8]

A su vez, también podemos apreciar la evolución de inversión que ha tenido a lo largo del tiempo posicionándose el 2019 como el año en el primer puesto con 3.400 millones de euros y suponiendo un incremento del 70% con respecto al ejercicio anterior.

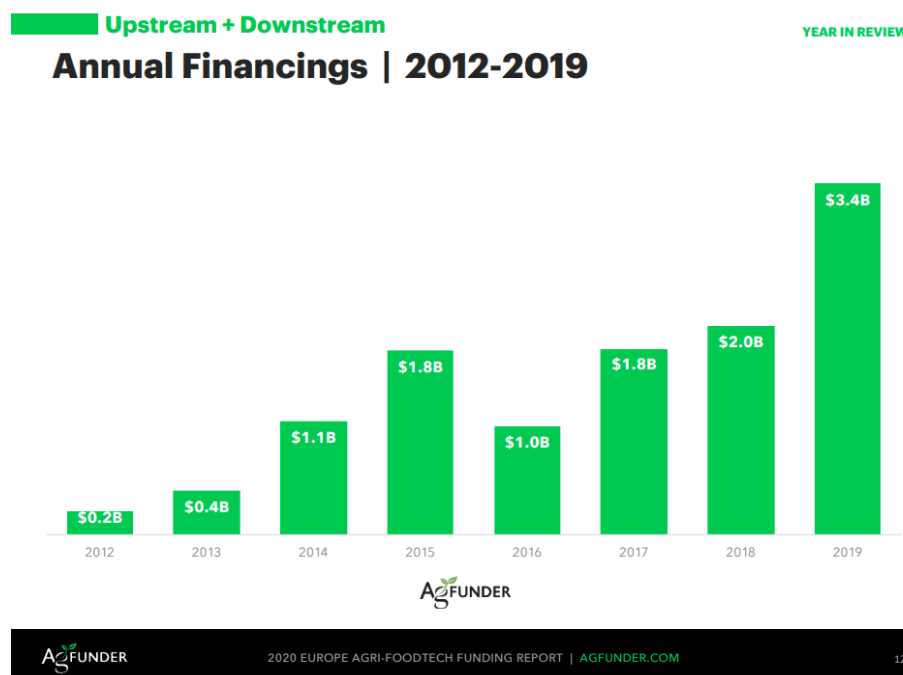


Fig. 2.8 Reporte del primer semestre de AGFunder [8]

Además AgFunder [8], publica las segmentos en los que se puede contemplar la industria tecnológica agroalimentaria.

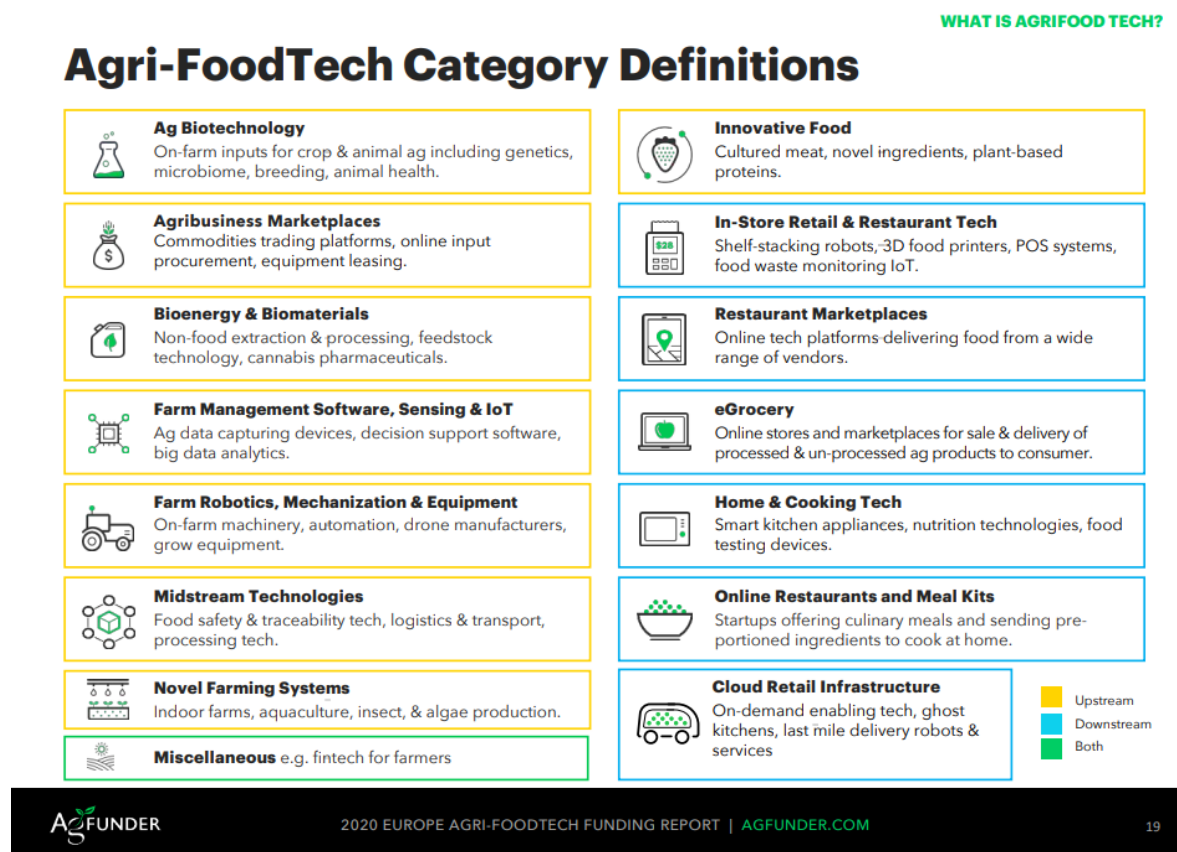


Fig. 2.9 Reporte del primer semestre de AGFunder [8]

Dentro de esta industria, a pesar de que es muy joven encontramos proyectos muy prometedores como CattleChain. Se encuentra entre los proyectos europeos más importantes en el sector agrícola con relación en IOT, proyecto coordinado por Sensowave con participación de la fundación FIWARE, el instituto de ganadería francés IDELE y la empresa alimentaria Natrus. Consiste en una solución global para la mejora en el proceso de producción y para ello realizan una combinación de algoritmos avanzados de Inteligencia artificial, IOT y blockchain con el objetivo de garantizar unas condiciones optimas para el ganado.



Fig. 2.10 Logo del proyecto CattleChain

Fuente: <https://cattlechain.eu/>

Apoyándose en el blockchain, el sistema identifica en tiempo real, todos los aspectos relacionados con el animal, desde su posición hasta su estado físico. Mejorando la productividad y eficiencia reduciendo el trabajo del ganadero.

Sin embargo, el proyecto IOT más ambicioso europeo es el de SatelIot, siendo el primer satélite para transmisión continua y global para conectividad IOT sobre un protocolo 5g. Aunque tendrá y tiene múltiples funciones en diversas áreas, nos centramos en sus funciones relacionadas con el campo. De esta manera, SatelIot propone el desarrollo de un sistema de extracción de imágenes mediante el satélite junto con el cálculo de indicadores de vegetación, la lectura de datos de sensores IOT en sus diferentes ubicaciones agrícolas.



Fig. 2.11 Logo del proyecto SatelIOT

Fuente: <https://sateliot.space/>

## 2.3 Elementos en un sistema IoT

De manera simplificada, podríamos reducir un sistema basado en IoT en tres elementos básicos para su correcto funcionamiento.

Por una parte, encontraríamos los sensores, encargados de recoger los datos externos y convertirlos en un señal eléctrica que podamos procesar. Posteriormente, tendríamos que enviar dicha información hacia el cerebro de nuestro sistema y que lo procese. Esta parte puede resolverse directamente con los sistemas actuales de comunicación, como por ejemplo por IP, pero en caso de grandes distancias tendremos que recurrir a determinadas pasarelas.

Por último, nuestro sistema ofrece una respuesta mediante los actuadores a los cuales les enviaremos las órdenes de vuelta mediante una señal eléctrica y que actuará en consecuencia según sus diferentes mecanismos.

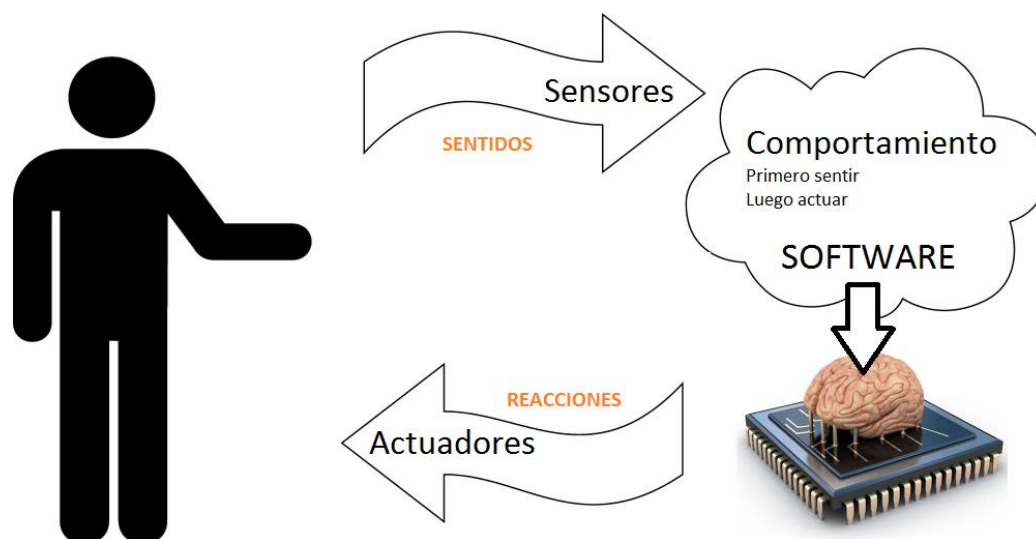


Fig. 2.12 Esquema funcionamiento de sistema IoT

Fuente: <https://soloarduino.blogspot.com/2014/10/sensores-y-actuadores.html>



## 2.3.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo diseñado con el fin de captar estímulos externos, transformarlo en datos y enviarlo para ser procesados. Es decir, son los ojos y oídos del sistema a través de los cuales se dota de la información que nos rodea.

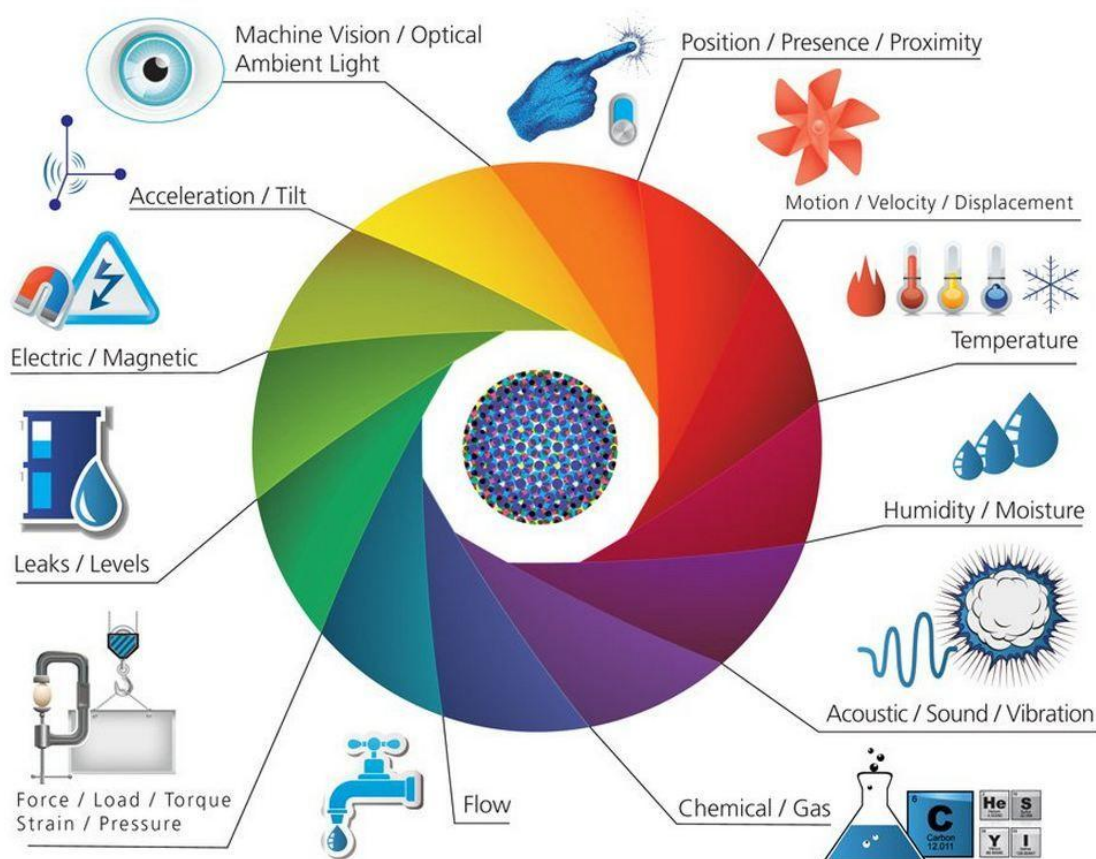


Fig. 2.13 Esquema conjunto de sensores y lo que pueden ser capaces de captar

Fuente: <https://www.postscapes.com/>

Hay muchos tipos de sensores en el mercado y que se utilizan para diferentes aplicaciones IoT, pero los más destacados son los siguientes.

### 2.3.1.1 Sensor de proximidad

Estos sensores [15] están especializados para detectar movimientos, ya sean objetos o señales que generan un estímulo en él mismo. Hay varios tipos de sensores de proximidad clasificados según su principio físico al que recurren.

	Capacitivos	Inductivos	Magnéticos	Ultrasónicos	Fotoeléctricos
Alcance	< 60 mm	< 80 mm	< 100 mm	< 15 m	< 200 m
Precio*	10-150 €	7-220 €	10-140 €	100-2.000 €	10-350€
Material que detectan	Cualquier material	Materiales metálicos	Materiales imantados	Materiales deflectores del sonido	Materiales reflectantes

\*Estos precios se basan en los precios marcados en los portales especializados DFRobot y Digikey además del líder en compraventa online Amazon sobre sensores de gama media. Son precios orientativos y aproximados.

#### 2.3.1.1.1 Capacitivos

Estos sensores se basan en un oscilador LC que genera un campo electromagnético, de tal manera que cuando recibe un cambio de la frecuencia o intensidad del campo genera un dato de cambio de estado por la presencia de un objeto u otra cosa que ha perturbado su estado inicial de las oscilaciones del campo magnético generado.

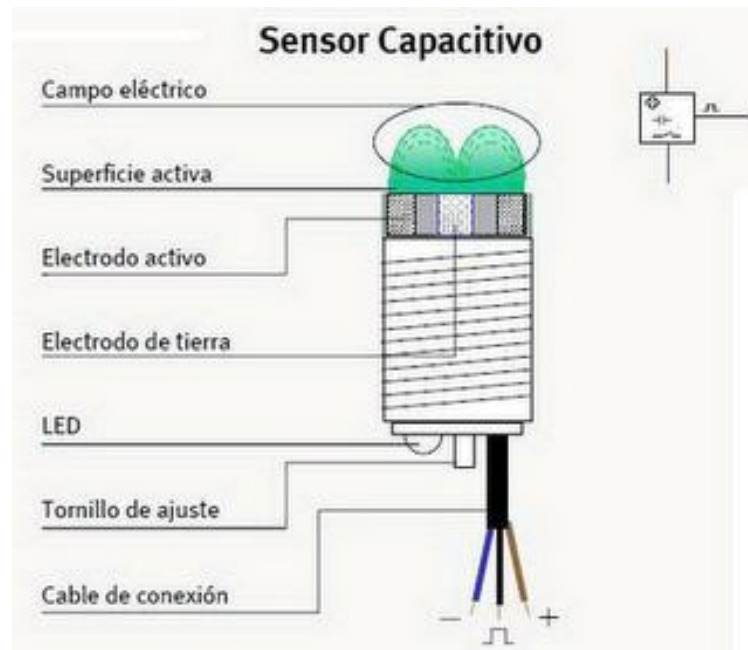


Fig. 2.14 Esquema sensor capacitivo

Fuente: <http://bloggerzantiagomartin.blogspot.com/2011/06/sensores-capacitivos.html>

Además en estos sensores podemos regular la distancia de captación de proximidad mediante un potenciómetro, que se encarga de la realimentación del oscilador.



Fig. 2.15 Ejemplo de sensor capacitivo

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/296-sensor-de-proximidad-capacitivo-ljc18a3-h-zbx.html>

Aunque también pueden detectar objetos metálicos, su principal uso es para la detección de materiales NO metálicos, como madera o plásticos.

### 2.3.1.1.2 Inductivos

Esta clase de sensores de proximidad están diseñados, al igual que los capacitivos, para generar un campo magnético y detectar las diferencias de intensidad del mismo para generar un dato de cambio de estado. La principal diferencia respecto los capacitivos es que detecta únicamente objetos metálicos debido a que la bobina del oscilador LC está formada por un núcleo de ferrita.

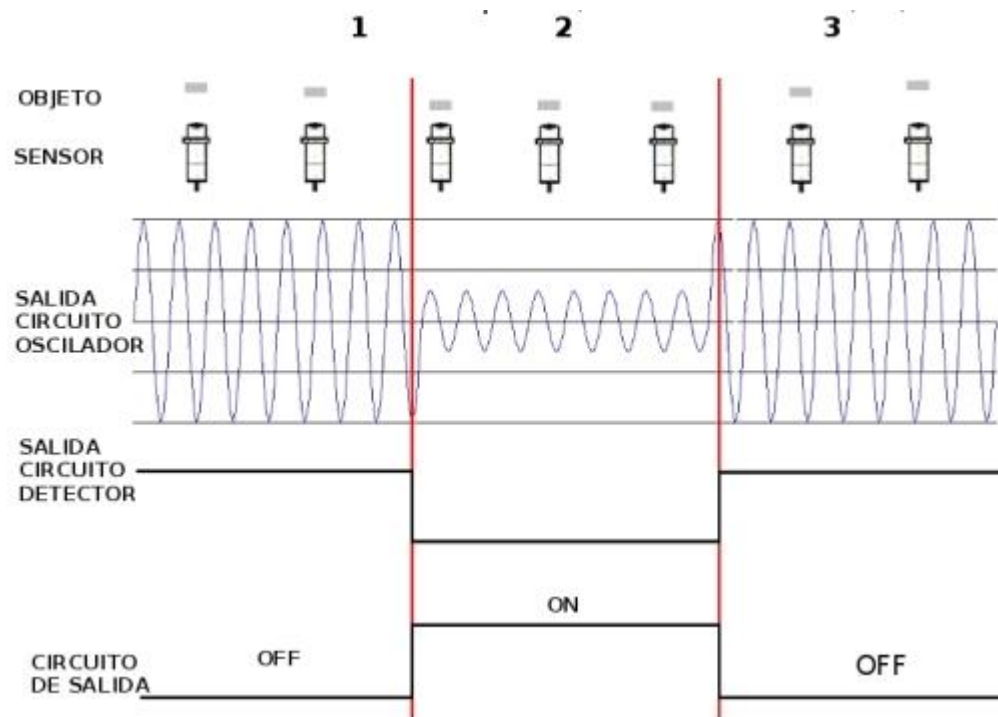


Fig. 2.16 Esquema funcionamiento sensor inductivo

Fuente: <https://instrumentacionmcoetzuma.blogspot.com/2017/10/sensoresinductivos-y-capacitivos.html>

### 2.3.1.1.3 Ultrasónico

Los sensores de ultrasonidos se basan en la emisión y recepción de impulsos ultrasónicos de alta frecuencia, aproximadamente unos 200 kHz. Cuando el sensor recibe el eco generado se puede estimar la presencia de algún objeto y la distancia a la que se encuentra mediante el tiempo que transcurre entre que la onda hace el camino de ida y vuelta.

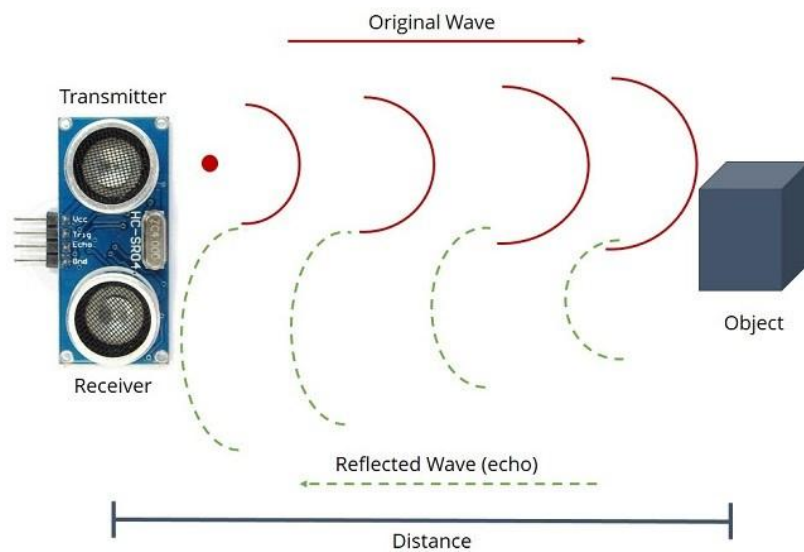


Fig. 2.17 Esquema funcionamiento sensor ultrasónico

Fuente: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=20494>

Estos sensores únicamente pueden trabajar en el aire y frente a materiales que sean deflectores de sonido independientemente del material.

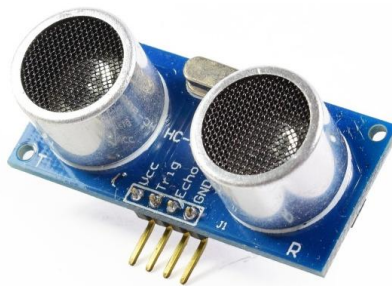


Fig. 2.18 Ejemplo de sensor ultrasónico

Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

#### 2.3.1.1.4 Magnéticos

Son sensores de proximidad que cambian de estado en función de los campos magnéticos de electroimanes e imanes permanentes sobre los que incidan.

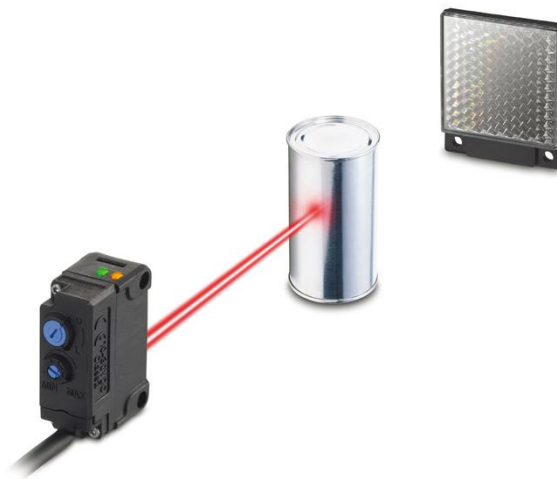


**Fig. 2.19** Ejemplo de uso de un sensor magnético

Fuente: <https://www.recordelectric.com/sensores-de-proximidad-fotoelectricos-p-f>

### 2.3.1.1.5 Fotoeléctricos

Esta clase de sensores se basan en un principio óptico para su funcionamiento. Detectan el objeto o movimiento cuando el haz de luz que generan sufre atenuaciones o se interrumpe. Además cuenta con un transductor fotoeléctrico que convierte esas señales de luz en eléctricas y poder formatearlas.



**Fig. 2.20** Ejemplo de uso de un sensor fotoeléctrico

Fuente: <https://www.keyence.com/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/feature/>

Existen tres diferentes tipos de sensores fotoeléctricos, según el haz de luz y la distancia de detección:

### 2.3.1.1.5.1 Tipo barrera

Esta clase es de tipo emisor-receptor y está compuesta por dos partes. Una de ellas se encarga de emitir el haz de luz y el otro de recibirlo. Para su correcto funcionamiento, tanto el emisor como el receptor, deben estar alineados y recibir el haz de luz de manera óptima en la zona de detección.

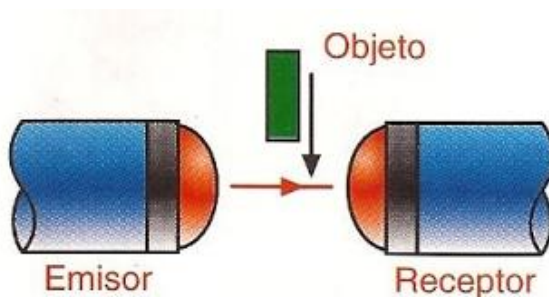


Fig. 2.21 Ejemplo de funcionamiento de un sensor fotoeléctrico de tipo barrera

Fuente: <https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/detectores-de-proximidad-fotoelectricos>

Su funcionamiento es simple, ya que se basa en la interrupción del haz de luz que recorre entre emisor y receptor para generar un cambio de estado.

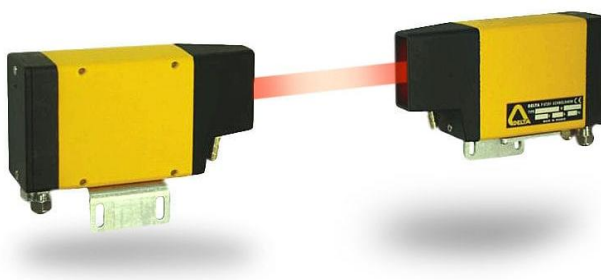


Fig. 2.22 Ejemplo de un sensor fotoeléctrico de tipo barrera

Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/delta/product-68641-561968.html>

### 2.3.1.1.5.2 Tipo retroreflectivo

En esta clase, a diferencia del anterior, tanto la parte emisora como la receptora se encuentran en un mismo dispositivo aunque es necesario utilizar un reflector catadióptrico externo para establecer el haz de luz.





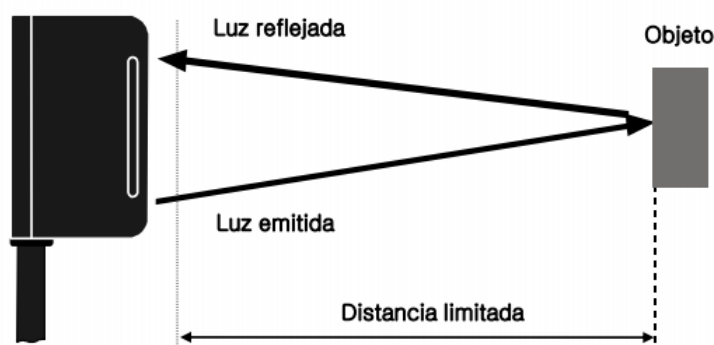
**Fig. 2.23** Ejemplo de un sensor fotoeléctrico de tipo retroreflexivo

Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-proximidad/293-sensor-de-proximidad-fotoelectrico-reflex-e3jk-r4m1.html>

La principal ventaja respecto al anterior tipo es que es más económico su ensamblado pues no requiere dos cableados, una para la parte emisora y otra para la receptora.

### 2.3.1.1.5.3 Tipo reflectivo directo

Por último, este tipo de sensores fotoeléctricos se basan en un haz de luz infrarroja recta que se lanza desde el dispositivo y cuando existe la presencia de un objeto, es este quien se encarga de la reflexión del haz de luz. Esta reflexión es captada por el receptor.



**Fig. 2.24** Esquema funcionamiento de sensor fotoeléctrico de tipo reflectivo directo

Fuente: <https://www.slideshare.net/ethan76/sensores-fotoelectricos-102905954>



### 2.3.1.2 Acelerómetros

Los acelerómetros [15] son los dispositivos diseñados para medir las aceleraciones, que es la variación de la velocidad de un objeto. En el caso de estos sensores, son dispositivos electromecánicos que detectan dicha fuerzas de aceleración, que pueden ser estáticas, como la propia gravedad, o dinámicas como el movimiento.

Aunque existen diferentes tipos de acelerómetros, el más utilizado es el piezoeléctrico que consiste en un retículo cristalino piezoeléctrico que al comprimirlo genera una carga eléctrica que es proporcional a la fuerza realizada.



**Fig. 2.25** Ejemplo de un acelerómetro

Fuente: <https://www.viaxys.com/produits/acc%C3%A9l%C3%A9rom%C3%A8tres/industriel/>

Para trasladar este mecanismo a un sistema microelectromecánico se utiliza una estructura de polisilicio sobre una superficie de silicio. Los muelles del polisilicio suspenden el mecanismo sobre la superficie a la espera de las aceleraciones. Cuando se producen, se generan deformaciones en dichos muelles que por su intensidad se puede estimar diferentes parámetros.

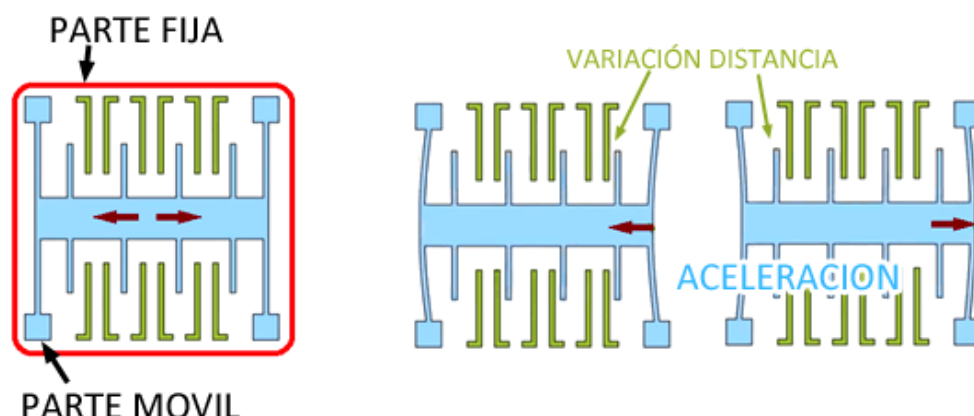


Fig. 2.26 Esquema funcionamiento de un acelerómetro

Fuente: <https://www.techulator.com/resources/8930-How-does-smart-phone-accelerometer-work.aspx>

Los acelerómetros actuales son de 3 dimensiones o ejes, es decir, podemos cuantificar las aceleraciones que sufre nuestro sensor en cualquier eje físico. Además, este último dato nos sirve, junto con algoritmos trigonométricos, para estimar la orientación a la que está sometido ó si se encuentra en caída libre al superar la aceleración de la gravedad terrestre,  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

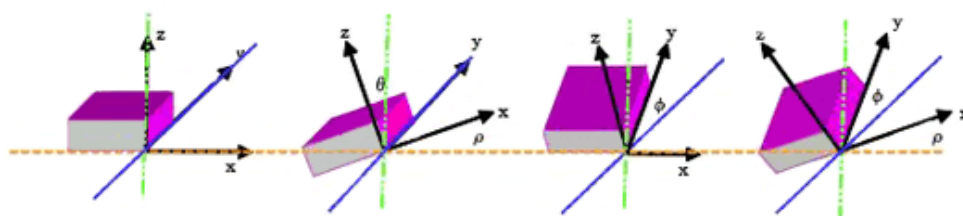


Fig. 2.27 Esquema de las 3 dimensiones que un acelerómetro es capaz de cuantificar

Fuente: <http://www.geekmomprojects.com/gyroscopes-and-accelerometers-on-a-chip/>

### 2.3.1.3 Sensor de temperatura

Son dispositivos [15] que detectan los cambios de temperatura y los transforman en señales eléctricas para ser posteriormente procesadas.

Estos sensores están formados por el sensor medidor, que se pueden encontrar tres diferentes, según el material que los componga y que

conforman las diferentes clases que hay, una vaina que lo envuelve y protege externamente e internamente esta rellena de materiales muy conductores para transmitir rápidamente las señales.

### 2.3.1.3.1 Termistor

El termistor es un sensor que se basa en la variación de la resistencia que presenta un semiconductor en función de la temperatura.

Existen dos tipos según el comportamiento de la resistencia.



Fig. 2.28 Ejemplo de un termistor

Fuente: <https://www.gadgetronicx.com/most-used-sensors-applications/>

#### 2.3.1.3.1.1 NTC

Son aquellos que tienen un coeficiente de temperatura negativo, y es que en este tipo al aumentar la temperatura se produce un decremento de la resistencia del sensor.

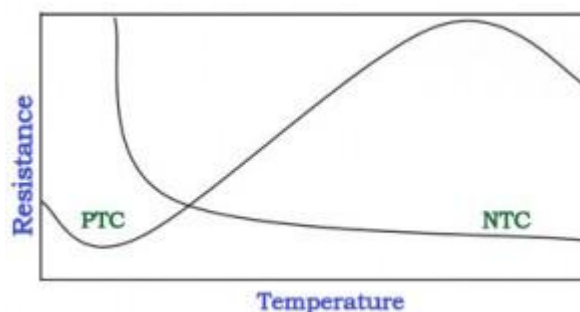


Fig. 2.29 Gráfica que relaciona la resistencia que ofrece respecto a la temperatura los termistores NTC vs PTC

Fuente: <https://goldfieldupc.com/>

### 2.3.1.3.1.2 PTC

En cambio, en este tipo se encuentran los que tienen un coeficiente de temperatura positivo, ya que al incrementar la temperatura se produce un aumento de la resistencia, al contrario que en el anterior tipo.

### 2.3.1.3.2 RTD

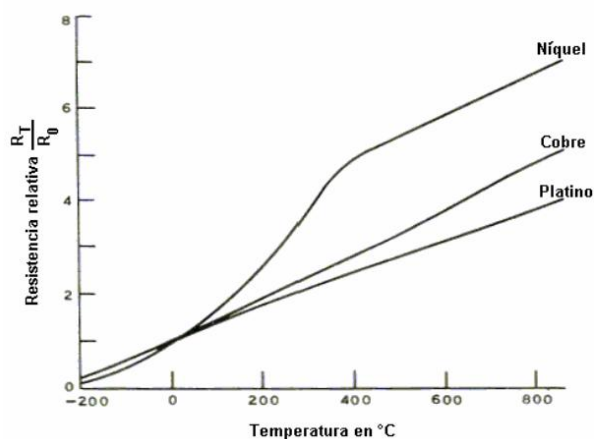
Los RTD o detector de temperatura resistivo, es un sensor que mide la temperatura a partir de la variación que sufre la resistencia de un conductor. El funcionamiento consiste en si se calienta el metal por una subida de la temperatura, generará en este una mayor agitación térmica por el aumento de dispersión de electrones y provocando un aumento de la resistencia que posteriormente se comunica y se transmite como señal eléctrica.



**Fig. 2.30** Ejemplo de un sensor RTD

Fuente: <https://www.haygor.com/product/rosemount-65-rtd-temperature-sensor/>

Los metales más utilizados para este tipo de sensores son el platino, cobre, níquel y molibdeno. Aunque cabe destacar al platino como el mejor debido a que es más rápido a la hora de detectar los cambios de temperatura, permite un mayor rango de temperatura y es más lineal.



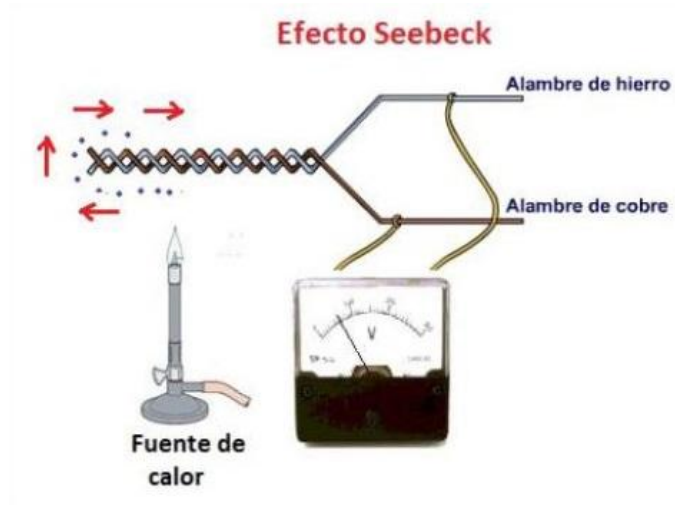
**Fig. 2.31** Gráfica de curvas usuales de termómetros de resistencias para alambre de Níquel, Cobre y Platino

Fuente: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-termometros-de-resistencia>

### 2.3.1.3.3 Termopar

El termopar o termocupla, basa su funcionamiento en el efecto termoeléctrico, en el cual transforma de manera directa el calor en electricidad.

Consiste en un transductor formado por dos metales que debido a la diferencia de temperatura su diferencia de potencial varía.



**Fig. 2.32** Ejemplo del efecto Seebeck

Fuente: <http://www.fc.uaslp.mx/pca/tesis/2019Doctorado/MendezLozoyaJavier-Doctorado201939.pdf>  
[pag3]

Además existen diferentes gamas de termopares comerciales, que varían según el tipo de termopar, su aislamiento y la sonda que lo compone.



**Fig. 2.33** Ejemplo de un termopar

Fuente: <https://www.amazon.es/SODIAL-termopar-Temperatura-Controlador-Sensores/dp/B00K67Y8V4>

### 2.3.1.3.3.1 Tipo K

Formado por una aleación de níquel y cromo. Es capaz de medir un rango amplio de temperatura yendo desde los  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A su vez, es bastante resistente a la oxidación debido a la presencia del níquel.

Suele utilizarse comercialmente en hornos de tratamientos térmicos.

### 2.3.1.3.3.2 Tipo E

Presenta una aleación de níquel y cromo junto con cobre y níquel. No son magnéticos y son muy recomendados para la medición de

bajas temperaturas gracias a que llega a soportar temperaturas de  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+900\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### **2.3.1.3.3.3 Tipo J**

Fabricado con hierro y constantano. Su rango de temperatura medible oscila entre  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El principal problema que presenta es su uso dónde exista oxígeno libre y la rápida oxidación que presenta el hierro a partir de temperaturas superiores de  $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **2.3.1.3.3.4 Tipo T**

Diseñado con cobre y constantano, es recomendado su uso para temperaturas bajo cero debido a que soporta de  $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **2.3.1.3.3.5 Tipo N**

Formado por una aleación de níquel, cromo y silicio junto con otra de níquel y silicio. Es ideal para medición de altas temperaturas ya que es capaz de detectar entre  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A diferencia del tipo J, no sufre oxidación a altas temperaturas y al no utilizar platino como los tipos B,R,S lo convierte en un sensor barato para la medición de las altas temperaturas.

#### **2.3.1.3.3.6 Tipo B**

Generado a partir de platino y rodio. Es recomendado para la medición de altas temperaturas ya que soporta un rango que oscila de los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **2.3.1.3.3.7 Tipo R**

Formado por platino y rodio. Presentan unas características muy

similares a las del tipo B, aunque no soporta tanta temperatura alcanzo un valor máximo de 1500 °C. Esta diferencia se produce porque los porcentajes utilizados de cada material para la creación de este sensor son diferentes al del tipo B.

#### **2.3.1.3.3.8 Tipo S**

Fabricado con platino y rodio. Sus características vuelven a ser similares al anterior tipo aunque con la diferencia de que los metales utilizados y su porcentajes no son de alta pureza provocando que llegue a un pico máximo de lectura de 1100 °C.

### **2.3.1.4 Sensor de presión**

Los sensores de presión [15] son dispositivos cuyo fin es la medición de la presión de gases o líquidos. Para ello, cuando registran un cambio de presión, funcionan como transductores y generan una señal eléctrica que posteriormente puede ser tratada con dicha información.

Esta clase de sensores tienen una gran variedad de usos y aplicaciones debido a sus diferentes diseños, prestaciones o costes.

Los sensores de presión pueden ser clasificados de dos maneras diferentes. Una de ellas sería según la presión que midan mientras que la otra manera es según la tecnología que utilice.

Las diferentes presiones que pueden ser capaces de medir son las siguientes:

- Presión absoluta: esta clase de sensores estiman la presión gracias a una cámara sometida al vacío. La deformación de la misma



correspondería a la presión ejercida.

- Presión relativa: se utilizan para estimar la presión con respecto a la presión atmosférica que hay en ese momento. Para conseguirlo se sirven de una membrana que está sometida a la presión atmosférica

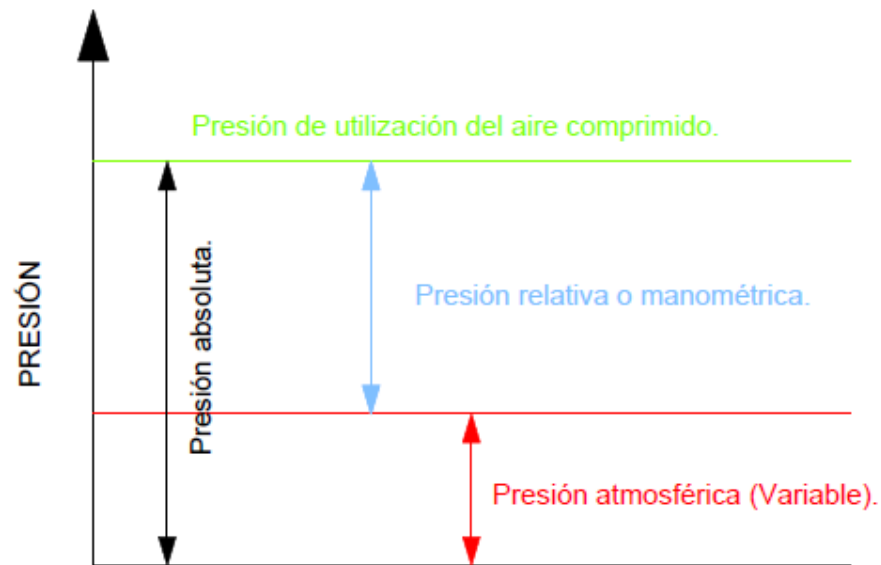


Fig. 2.34 Esquema de las diferentes presiones

Fuente: <https://herterinstruments.es/diferencias-entre-presion-absoluta-y-presion-relativa/>

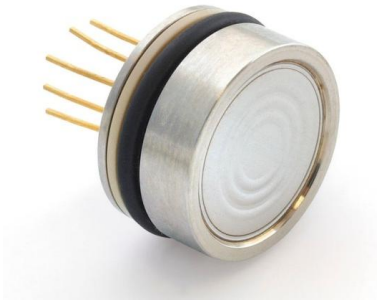
- Presión diferencial: calculan la diferencia entre dos presiones, para conseguirlo se utilizan dos entradas, una a cada lado de la membrana.

Si acudimos a la clasificación según su tecnología, observamos los siguientes:

#### 2.3.1.4.1 Piezorresistivo

Este tipo de sensores consiguen realizar las estimaciones por la fuerza que ejerce la presión sobre el material sensor que genera un cambio en la resistencia. Generalmente, están fabricados con silicio o

derivados del mismo por lo que presenta una buena resistencia térmica. A su vez, presentan una alta sensibilidad.



**Fig. 2.35** Ejemplo de un sensor de presión piezorresistivo

Fuente: <https://www.aeroexpo.online/es/prod/keller/product-186055-38258.html>

#### 2.3.1.4.2 Capacitivo

Se basa en una membrana y una cavidad de presión que detectan la deformación en la membrana haciendo variar la capacitancia del condensador. A mayor deformación de la membrana se producirá una reducción de la capacitancia.



**Fig. 2.36** Ejemplo de un sensor de presión capacitivo

Fuente: <https://automatica1994.directindustry.es/fabricante-industrial/ifm-electronic/sensor-presion-60866-544.html>

Son sensores precisos con gran sensibilidad y capaces de hacer estimación de bajas presiones.

#### 2.4.1.4.3 Piezoeléctrico

Se basan en el efecto piezoeléctrico, por el cual se consigue que la presión ejerza su fuerza sobre un material de estas características generando una deformación en el mismo que es cuantificada.



**Fig. 2.37** Ejemplo de un sensor de presión piezoeléctrico

Fuente: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-presion-piezoelctrico-82127.html>

Esta clase de sensores de presión está diseñada especialmente para presiones de variación dinámica.

#### 2.3.1.4.4 Electromagnético

Los sensores electromagnéticos de presión consisten en el desplazamiento de la membrana siguiendo dos principios de estimación diferentes. Por una parte, sería utilizando la ley de Faraday mientras que en el otro sería el efecto Hall.



**Fig. 2.38** Ejemplo de un sensor de presión electromagnético

Fuente: <https://www.tipl.com/product/flow>

#### 2.3.1.4.5 Resonante

Este sensor de presión sigue un principio diferente al de los anteriores, ya que se basa en la variación de la frecuencia de resonancia sobre una membrana para estimar la presión generada. Esta tecnología presenta estimaciones muy estables.



**Fig. 2.39** Ejemplo de un sensor de presión resonante

Fuente: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-presion-rs485-146264.html>

#### 2.3.1.5 Sensor de humedad

Los sensores de humedad [15] cuantifican el nivel de líquidos u otros fluidos en un área determinada, para conseguirlo calculan la humedad relativa presente.

Existen varios tipos de sensores de humedad en el mercado actual, clasificados según el principio físico que utilizan para realizar sus mediciones.

### 2.3.1.5.1 Mecánicos

Esta clase de sensores están diseñados para cuantificar la humedad de ciertos materiales debido al cambio de tamaño que sufren cuando hay presente ciertos niveles de humedad, como podría ser el cabello humano.

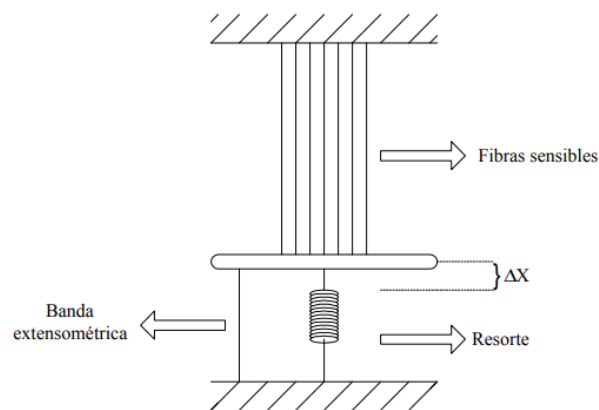


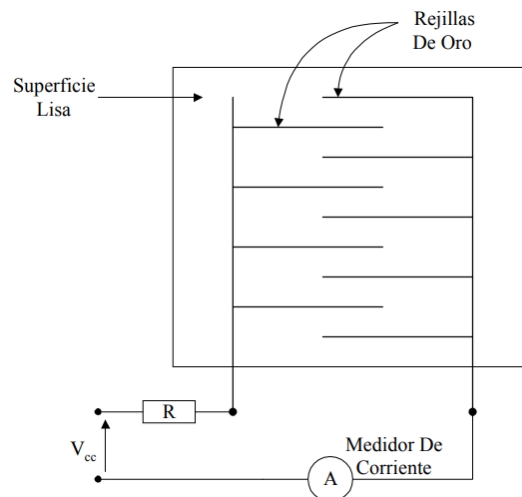
Fig. 2.40 Ejemplo de funcionamiento de un sensor de humedad mecánico

Fuente: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf>

El funcionamiento consiste en disponer de una banda extensométrica que varíe en función del aumento de tamaño de la fibra según la humedad que haya. La variación en la banda provocará cambios en la resistencia que lo cuantificará en modo de voltaje y de esta manera poder tratar la señal.

### 2.3.1.5.2 Conductivos

Los sensores de humedad conductivos basan su funcionamiento en que el agua es un gran conductor de corriente, por lo que mediante unas rejillas conductoras, normalmente suelen ser de oro, con corriente eléctrica es posible estimar la humedad a partir de este.



**Fig. 2.41** Ejemplo de funcionamiento de un sensor de humedad conductivo

Fuente: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf>

### 2.3.1.5.3 Capacitivos

Dentro de los sensores de humedad, este tipo son los más populares comercialmente. Se debe a su bajo coste y alta precisión.



**Fig. 2.42** Ejemplo de un sensor de humedad capacitivo

Fuente: <https://mecatronicauno.com/comprar/sensor-humedad-tierra-capacitivo-v1-2/>

El principio físico que utilizan procede a la variación que sufre la capacidad de un condensador al variar su constante dieléctrica. Esto se debe a que el agua posee una constante dieléctrica mayor que la del aire,  $80 > 1$ . De tal manera que el condensador variará según el número de moléculas de agua presentes que haya y realizando una estimación de la humedad.

#### 2.3.1.5.4 Infrarrojos

Esta clase de sensores utilizan una fuente de rayos infrarrojos que inciden sobre la muestra o área indicada. Posteriormente, se recoge la radiación restante para analizarla. Cabe indicar que el agua absorbe las radiaciones  $\lambda = 1400[\mu\text{m}]$  y  $\lambda = 1930[\mu\text{m}]$ , que se encuentran en el espectro infrarrojo. Por lo que, utilizando dicho análisis en la recepción del haz infrarrojo se puede estimar la humedad existente.

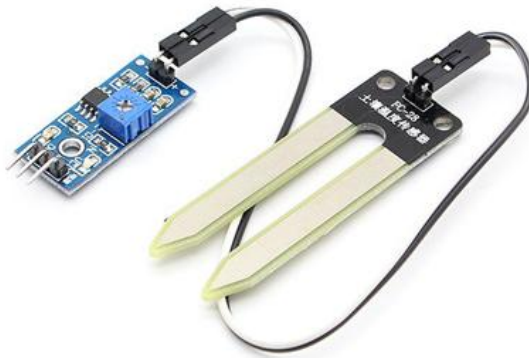


Fig. 2.43 Ejemplo de un sensor infrarrojo

Fuente: <https://www.dastecsrl.com.uy/divisiones/alimenticia/humedad/analizadores-infrarrojos-sin-contacto/mct460-t-sensor-inteligente-de-humedad-en-tabaco-infrarrojo-nir>

#### 2.3.1.5.5 Resistivos

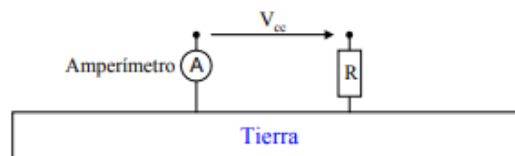
Basado en el principio de la conductividad de la tierra, la cual será mayor en cuanto más cantidad de agua haya pues ésta es un gran conductor de la misma.



**Fig. 2.44** Ejemplo de un sensor infrarrojo resistivo

Fuente: <https://eodos.net/proyectos/sensor-de-humedad>

Consisten en dos electrodos separados a cierta distancia que se insertan en la tierra. Posteriormente se les aplica una diferencia de potencial con el fin de medir la corriente y poder cuantificarlo.



**Fig. 2.45** Esquema de funcionamiento de un sensor de humedad resistivo

Fuente: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf>

## 2.3.2 Actuadores

Es el dispositivo que forma parte de un sistema IoT que se encarga de transformar una determinada energía en la activación de un proceso con el fin de provocar una acción. Los actuadores reciben las órdenes para su funcionamiento por parte de un controlador.

Los actuadores se pueden clasificar según el tipo de energía que es capaz de transformar.



### 2.3.2.1 Hidráulicos

Son aquellos actuadores que utilizan la presión ejercida por líquidos con el fin de transformarlo en un movimiento mecánico y de tal manera generar potencia.

A su vez, los actuadores hidráulicos pueden ser clasificados en tres categorías:

- Cilindro hidráulico
- Motor hidráulico
- Motor hidráulico de oscilación

### 2.3.2.2 Neumáticos

En este tipo se utiliza para generar el movimiento mecánico necesario la potencia del aire comprimido. Son similares a los actuadores hidráulicos pero no poseen tanta fuerza de compresión.

### 2.3.2.3 Eléctricos

Son los actuadores más utilizados y simples. Utilizan como fuente de energía la electricidad. Además presentan una mayor versatilidad e utilidad además del coste reducido respecto a los anteriores debido a que sólo es necesario cables eléctricos para transmitir la energía necesaria.

## 2.3.3 Dispositivos de gestión

Son el conjunto de dispositivos que se encargan de permitir la comunicación entre los diferentes sensores, actuadores y controladores, es decir, garantiza la conectividad de nuestros sistemas.

Según IoT Analytics, con una proyección de hasta 2025 prevén que haya más conexiones IoT respecto al resto, concretamente estiman unos 21.500 millones de conexiones. Esto constata la importancia de los dispositivos encargados de una correcta conectividad.

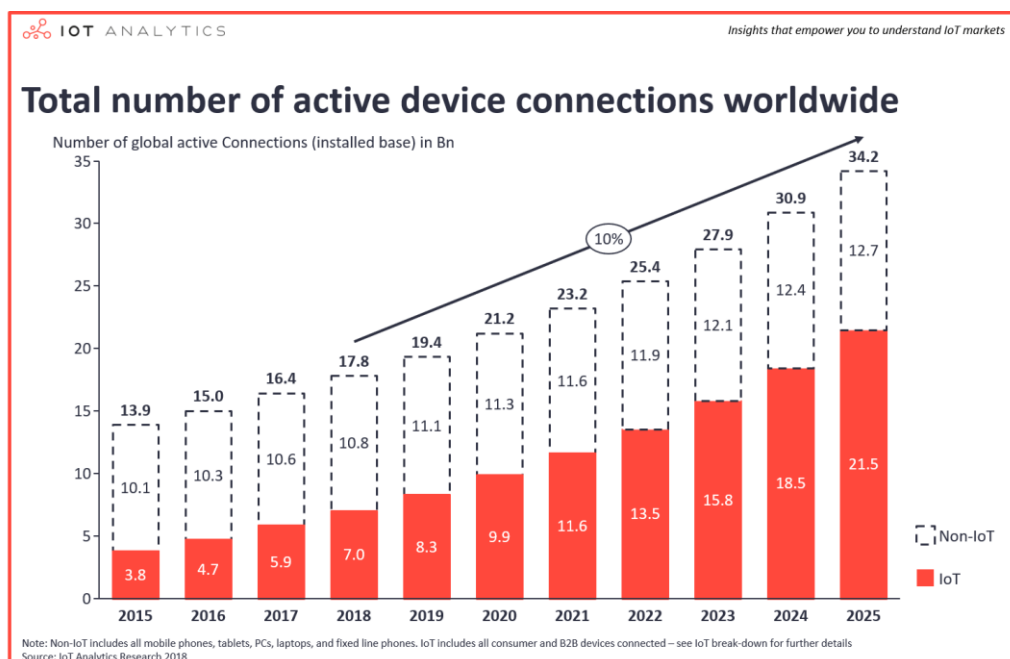


Fig. 2.46 Gráfica del número total de conexiones de dispositivos a través o no de tecnología IoT, a partir de los datos de IoT-Analytics [9]

### 2.3.3.1 Pasarela o gateway

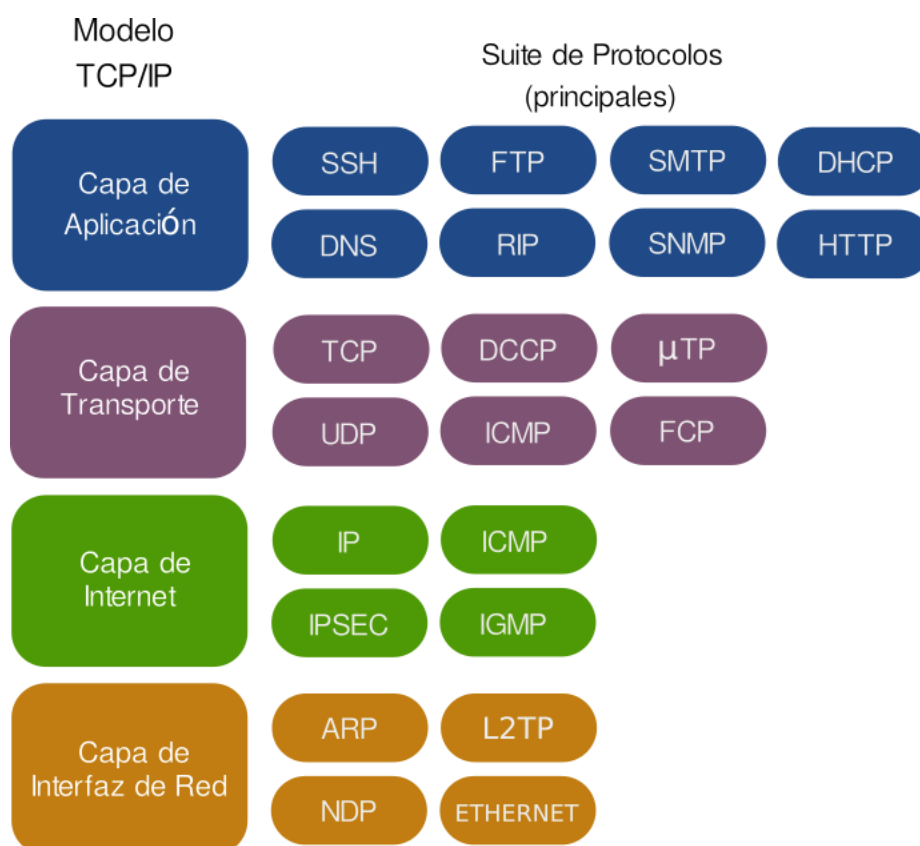
En IoT, un gateway o pasarela consiste en un dispositivo físico o software que permite la conectividad entre los servicios en la nube, los controladores, sensores y actuadores. Es decir, es un dispositivo dentro de una red enorme de comunicaciones que permite a través de este, acceder a otra red, independientemente del protocolo o arquitectura que posean. De tal manera, todos los datos viajan a través de esta clase de dispositivo, ya sea de ida como de vuelta,



**Fig. 2.47** Esquema de funcionamiento de un sistema IoT

Fuente: <https://www.intel.de/content/www/de/de/internet-of-things/gateway-solutions.html>

Generalmente, para poder conectar dos redes con diferentes protocolos o arquitecturas, el gateway se encarga de la modificación de los datos transportados con el fin de adaptarlo a la red de destino y que puedan ser transmitidos de manera óptima. Es por ello, que normalmente trabajan en el nivel más alto de la pila OSI, el de aplicación.



**Fig. 2.48** Pila OSI y los protocolos que gestiona cada capa

Fuente: <https://aprendederedes.com/redes/introduccion/modelo-tcp-ip/>

## 2.4 Tecnologías

La parte más crucial en cualquier sistema IOT es en poner en contacto a todos los elementos y dispositivos a través de la red, permitiendo la transmisión de velocidad de datos de una manera óptima.

En el mercado actual, podemos observar gran cantidad de diferentes tecnologías para realizar dicha interconexión. Cada una de ellas posee determinadas particularidades que varían según su protocolo de comunicación como puede ser la frecuencia, ancho de banda, distancia de cobertura o velocidad de transmisión, entre otros.

Empezaremos clasificando las diferentes tecnologías según su tipo de conexión.

### 2.4.1 Cableadas

La conexión mediante cable de los diferentes dispositivos es la solución más sencilla y con mayor fiabilidad, seguridad y rendimiento. Además posee un mayor ancho de banda respecto a la conexión inalámbrica.

Aunque también presentan sus inconvenientes, siendo el más notorio la falta de movilidad, ya que estaríamos limitados por la distancia del cable. A su vez, son proyectos más caros pues requieren de mayor material y su instalación es más engorrosa y complicada al tener más conexiones físicas.

### 2.4.2 Inalámbricas

A pesar de las bondades que ofrece la conexión cableada, actualmente la inalámbrica es quien ejerce de líder en el mercado. Su gran auge en los últimos años procede de la gran mejora que se ha producido en estas, surgiendo a raíz de ello multitud de diferentes protocolos de comunicación inalámbricos.

La tecnología IOT se beneficia mucho de las conexiones inalámbricas porque les permite una gran movilidad, pudiendo obtener información en tiempo real desde cualquier punto del entorno en el que se despliegan. A su vez, también les permite un mayor grado de escalabilidad a menor precio con respecto a la cableada.

Para permitir la conexión en sistemas IoT, a través del gateway es necesaria la utilización de transceptores, que suelen venir incorporados normalmente en el propio dispositivo. Los transceptores son módulos transmisor-receptor. Los utilizados en esta tecnología son de tipo SFP, se utilizan para aplicaciones de comunicaciones de transmisión de datos y telecomunicaciones. Su principal función consiste en la extensión de la distancia de transferencia.

Además esta clase de dispositivos de comunicación a larga distancia, trabajan en un tipo de red llamada LPWAN (Low Power Wide Area Networking). Consiste en un tipo de red para comunicaciones inalámbricas de largo alcance y con una velocidad de transmisión baja.

### 2.4.2.1 LoRaWAN

LoRaWAN es una especificación LPWAN diseñada para dispositivos inalámbricos conectados a batería que operan dentro de una red regional, nacional o global. Además cumple con los requisitos IoT como comunicación bidireccional, seguridad entre extremos y servicios de movilidad y localización.

El protocolo LoRaWAN trabaja a frecuencias de las bandas ISM, aunque puede operar a cualquier frecuencia inferior de 1 GHz. Aunque cabe indicar que según el país tienen marcadas unas frecuencias con las que operar que suelen ser 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz. En el caso de Europa no se puede usar la de 915 MHz.



Fig. 2.49 Logo de la tecnología LoRaWAN

Fuente: <https://lora-alliance.org/>

Las distancias que puede llegar a cubrir es de hasta 20 km en condiciones favorables. Normalmente, se recomienda una distancia de funcionamiento de entre 2 y 5 kilómetros en áreas urbanas de alta densidad mientras que puede llegar hasta 10 kilómetros en zonas de menor densidad.

La arquitectura de red LoRaWAN se implementa en una topología de estrella en la que los gateway o pasarelas retransmiten los datos entre los dispositivos finales y el servidor. Los gateway están conectados al servidor a través del protocolo IP estándar, mientras la comunicación inalámbrica aprovecha las características de LOnG RAnge de la capa física de LoRa permitiendo enlaces single-hop entre dispositivos finales y uno o varios gateways.

Todos los modos permiten comunicación bidireccional, además de que posee compatibilidad multidifusión que permite la actualización del software a distancia o la distribución masiva de mensajes.



Fig. 2.50 The Things Node, de la empresa The Things Network, basado en la tecnología LoRaWAN

Fuente: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/node/>

Además, con el fin de incrementar la capacidad del gateway LoraWan implementa canales a diferentes frecuencia y tasas de transferencia para la transmisión de datos, creando de tal manera canales virtuales y por tanto aumentando la capacidad. Las tasas de transferencia que está programado para esta tecnología va desde los 0.3 kbps a los 50 kbps.

### 2.4.2.2 Zigbee

Zigbee es una tecnología formada a su vez por un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica cuyo principal uso es la radiodifusión digital de bajo consumo de datos. ZigBee se basa en el estándar de la IEEE, el IEEE 802.15.4 de WPAN (Wireless Personal Area Network).



Fig. 2.51 Logo de la tecnología Zigbee

Fuente: <https://zigbeealliance.org/es/>

Zigbee utiliza al igual que LoRaWAN la banda ISM. En Europa es la de 868 MHz, Estados Unidos 915MHz y 2,4 GHz en todo el mundo.

Además consiste en una tecnología centrada en la sencillez y en el bajo costo respecto al resto de protocolos de comunicación inalámbrica. Si realizamos un breve comparación con el protocolo Bluetooth observamos como el nodo de Zigbee requiere, el más complejo, alrededor del 10% del hardware que respecto a uno de Bluetooth. En el caso de nodos más sencillos, esta cifra llegaría al 2%.

Zigbee trabaja con 16 canales en la frecuencia de 2'4 GHz y cada uno de ellos posee un ancho de banda máximo asignado de 5 MHz. Además utiliza el protocolo CSMA/CA con el fin de evitar colisiones durante el intercambio de datos.



**Fig. 2.52** Módulo Zigbee (802.15.4) de 2.4 GHz

Fuente: <https://www.mouser.es/ProductDetail/DIGI/XB24CAWIT-001?qs=%2FPVulymFwT1u0cCwuRVF0g%3D%3D>

Zigbee permite el uso de tres tipos diferentes de topologías de red aunque con determinados matices:

- En estrella: coordinador en el centro
- En árbol: coordinador raíz del árbol
- En malla: al menos un nodo tendrá más de dos conexiones

La topología de red más utilizada en la tecnología ZigBee es la malla, ya que es la que mejor se enfrenta a la pérdida de nodos pues si uno cayera la comunicación podría seguir por otro camino sin interrupciones. El camino por donde va el mensaje es elegido por el coordinador.

### 2.4.2.3 Z-Wave

Z-Wave es una tecnología RF de bajo consumo diseñada, en un primer momento, para fines domóticos.



**Fig. 2.53** Logo de la tecnología Z-Wave

Fuente: <http://www.tenealive.com/zwave>



Esta optimizado para la comunicación fiable de baja latencia de pequeño tamaño. Además puede llegar a alcanzar como máximo velocidades de datos de 100 kbits/s. A su vez, trabaja en la banda de sub-1 GHz , específicamente en 868 MHz y pudiendo llegar a operar en rangos de hasta 30 metros, lo que la hace una tecnología de comunicación muy robusta frente a interferencias de Wi-Fi u otras tecnologías inalámbricas del rango 2,4 GHz como son la de Bluetooth o Zigbee.

La única empresa comercial que fabrica chips compatibles con esta tecnología es Sigma Design. El estándar que utiliza este protocolo es Z-Wave Alliance.



**Fig. 2.54** Módulo de transceptor de radiofrecuencia basado en el protocolo Z-Wave

Fuente: <https://www.digikey.com/product-detail/es/silicon-labs/ZM5202AU-CME3R/703-1072-1-ND/4135429>

La topología típica es esta tecnología es de malla, permitiendo que cada elemento del sistema se comporte como emisor o receptor de los datos según oportuna. Cabe añadir que permite realizar agrupaciones de elementos con el objetivo de aunar una misma funcionalidad a todos los que están dentro de dicho grupo.

Sin embargo, el principal problema que presenta esta tecnología de comunicación es el elevado consumo eléctrico debido a que el hardware esta siempre activado generando un gasto constante.

Un sistema típico de esta tecnología está basado en dos elementos básico:

- Controladores: se encargan de iniciar y enviar los comando de control a los diferentes nodos.

Podemos diferenciar dos tipos de controladores especiales:

- Controlador de instalador, el cual sirve para realizar tareas de mantenimiento y configuración de la red.
- Controlador de puente, que permite la comunicación con otras redes de diferentes tecnologías como si fueran Z-wave
- Esclavos: elementos que ejecutan las órdenes dadas y dan los datos requeridos por los controladores

#### 2.4.2.4 Sigfox

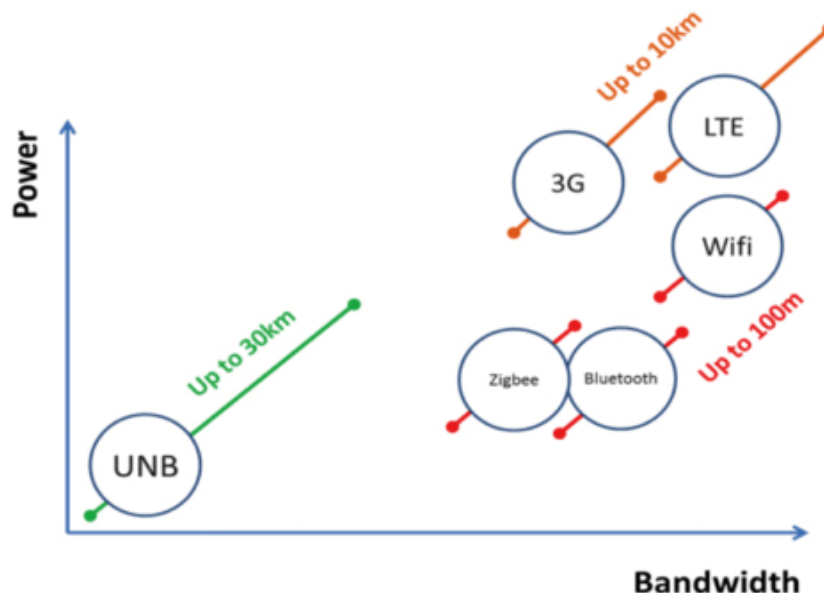
Sigfox es la empresa francesa que creó una tecnología de comunicación inalámbrica especializada en IoT y le otorgó el mismo nombre. Este protocolo proporciona un servicio de red de cobertura amplia de bajo consumo, como hemos denominado anteriormente LPWAN, pensada para pequeños dispositivos que generan muy pocos datos pues únicamente cuenta con la posibilidad de transferir datos a 12 bytes.



Fig. 2.55 Logo de la tecnología Sigfox

Fuente: <https://www.sigfox.es/>

Sigfox, como en anteriores casos, usa las bandas ISM para transmitir las frecuencias (868 MHz en Europa y 902 MHz en Estados Unidos). Además utiliza la tecnología UNB, Ultra Narrow Band, que consiste en utilizar canales muy estrechos del espectro con el fin de aumentar las distancias que es capaz de transmitir reduciendo la energía necesaria al mínimo.



**Fig. 2.56** Gráfica que relaciona la potencia necesario con el ancho de banda que ofrecen las diferentes tecnologías inalámbricas

Fuente: <https://blog.330ohms.com/2017/05/11/que-es-sigfox-y-como-funciona/>

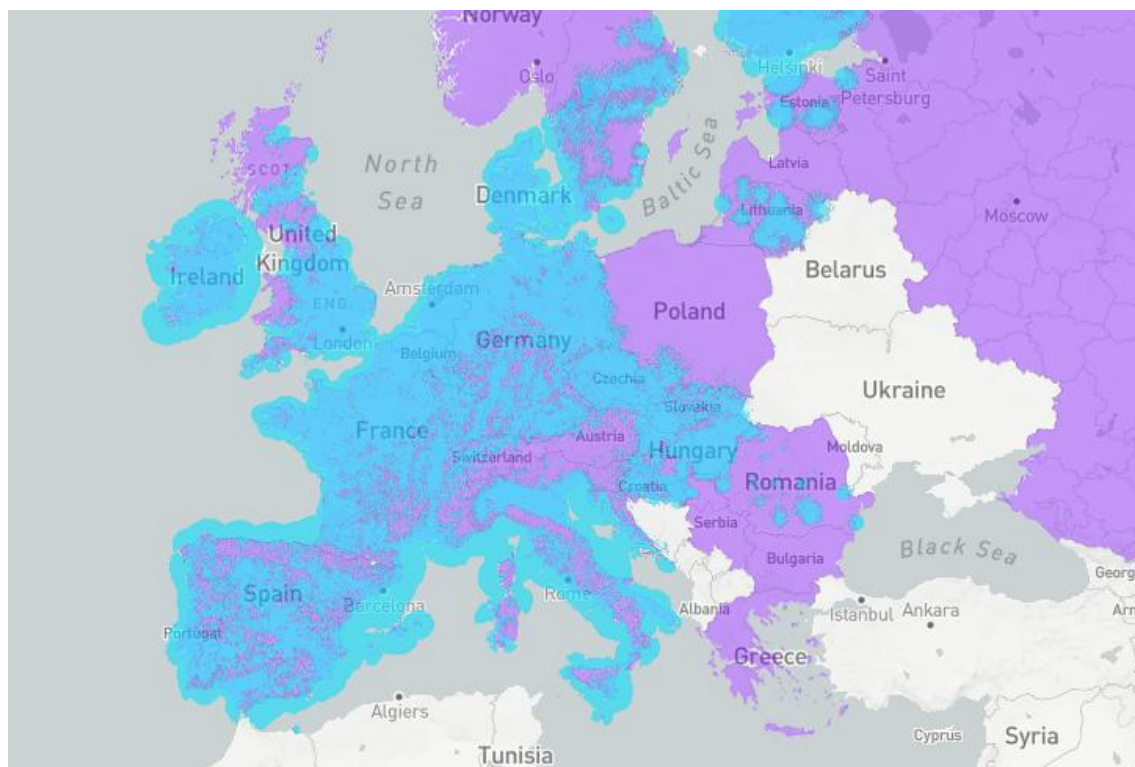
A partir de la figura anterior, podemos observar las diferentes tecnologías de comunicación y cuál es su respuesta frente al ancho de banda que utilizan con respecto la distancia que son capaces de alcanzar. La tecnología UNB, que utiliza Sigfox, la convierte en un protocolo simple de comunicación pues no permite gran intercambio de información a cambio de recorrer grandes distancias.



**Fig. 2.57** Módulo de radiofrecuencia con protocolo Sigfox

Fuente: <https://partners.sigfox.com/products/arm-nano>

La red creada por Sigfox, consiste en una red formada por antenas y estaciones repartidas a lo largo de los diferentes países comunicándose con los sensores finales y con el servidor de Sigfox.



**Fig. 2.58** Mapa europeo en el cual se muestra la cobertura de la tecnología Sigfox. En azul las antenas operativas y en morado las de próxima construcción

Fuente: <https://www.sigfox.com/en/coverage>

Podemos apreciar, en color azul, la cobertura actual que posee Sigfox disponible y en morado las diferentes antenas o estaciones que están intentado implementar para que en un futuro próximo estén disponibles y puedan seguir con su expansión.

#### 2.4.2.5 WiFi

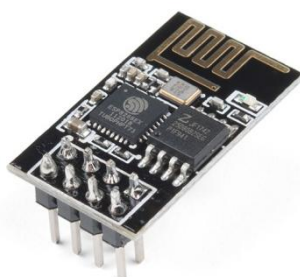
Ahora procederemos a analizar la tecnología de comunicación inalámbrica por excelencia y más extendida a nivel de usuario. El WiFi de la marca Wi-Fi Alliance, o dicho de otra manera, el estándar 802.11, lanzado en 1997 está formado por una serie de técnicas de modulación half-dúplex.



**Fig. 2.59** Logo de la tecnología WiFi

Fuente: <https://www.wi-fi.org/>

A lo largo del tiempo, han surgido mejoras del mismo pero tienen en común que utilizan, como otras tecnologías de transmisión inalámbrica, las bandas ISM trabajando en una frecuencia de 2,4 GHz como los estándares 802.11b, 802.11g e 802.11n y más recientemente también se incorporó la de 5 GHz con el estándar 802.11ac. Cabe destacar el uso reciente de la banda de 5 GHz y que no hay otras tecnologías IoT que la utilicen por lo que apenas hay interferencias. Aunque cabe recordar que su alcance es menor que con respecto al de 2.4 GHz, ya que a mayor frecuencia, menor alcance.



**Fig. 2.60** Módulo de transmisión con tecnología WiFi

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/13678>

La tecnología WiFi destaca principalmente por su uso masivo, cotidiano, para la transferencia de datos continuos a alta velocidad.

Respecto a la seguridad que implementa esta tecnología de comunicación, se podría afirmar que es la que más segura teniendo importantes protocolos extendido de secularización como son:

- WEP: protocolo que cifra los datos de tal manera que únicamente el receptor es capaz de acceder a estos. A pesar de todo, este tipo de seguridad está obsoleta y es no recomendada debido a la gran cantidad de vulnerabilidades que presenta. En la actualidad es difícil encontrarse una red WEP.

- WPA: protocolo que presenta mejoras frente a sus predecesores como generación dinámica de la clave de acceso.

- WPA2: es la mejora inmediata del WPA. Actualmente es el protocolo más seguro para redes WiFi. Utiliza un algoritmo de cifrado AES.

- IPSEC: se utiliza en las VPN y los estándares 802.1X. Su función es la autorización y autenticación de usuarios.

Las redes WiFi están compuestas por diferentes elementos de distribución que permiten su distribución y acceso:

- Puntos de acceso: son dispositivos que permiten la conexión de los dispositivos de manera inalámbrica para conectarse a la red.

- Repetidores: se utilizan con el fin de aumentar la cobertura de la red inalámbrica. Su función es conectarse a una red ya existente desde un punto relativamente lejano al que llegue la señal original de manera débil y genera una señal limpia, aumentando el radio de cobertura al que se pueden conectar otros dispositivos.

- Enrutadores: son dispositivos compuestos. Su función es la de tomar la conexión a internet y permitir el acceso a la red a todos los dispositivos que conectemos a partir de esta.

## 2.4.2.6 Bluetooth

Bluetooth es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal (WPAN) creado por Bluetooth Special Interest Group, Inc. A raíz de la última actualización del protocolo Bluetooth llamado BLE (Bluetooth Low Energy), destaca por su poca necesidad de gasto energético, su aceptable rango de alcance y su reducido tamaño.



**Fig. 2.61** Logo de la tecnología Bluetooth

Fuente: <https://www.bluetooth.com/>

Esta tecnología opera en la banda ISM, sobre la frecuencia de 2.4 GHz. A pesar de que inicialmente la tecnología Bluetooth fue ideada para una continua transmisión de datos a corta distancia. Con la nueva implementación BLE, permite mantenerse en modo suspensión, excepto cuando se inicia la conexión lo que supone, como ya hemos comentado, un ahorro notable de energía.



**Fig. 2.62** Módulo de transmisión basado en la tecnología BLE

Fuente: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/RN4020>

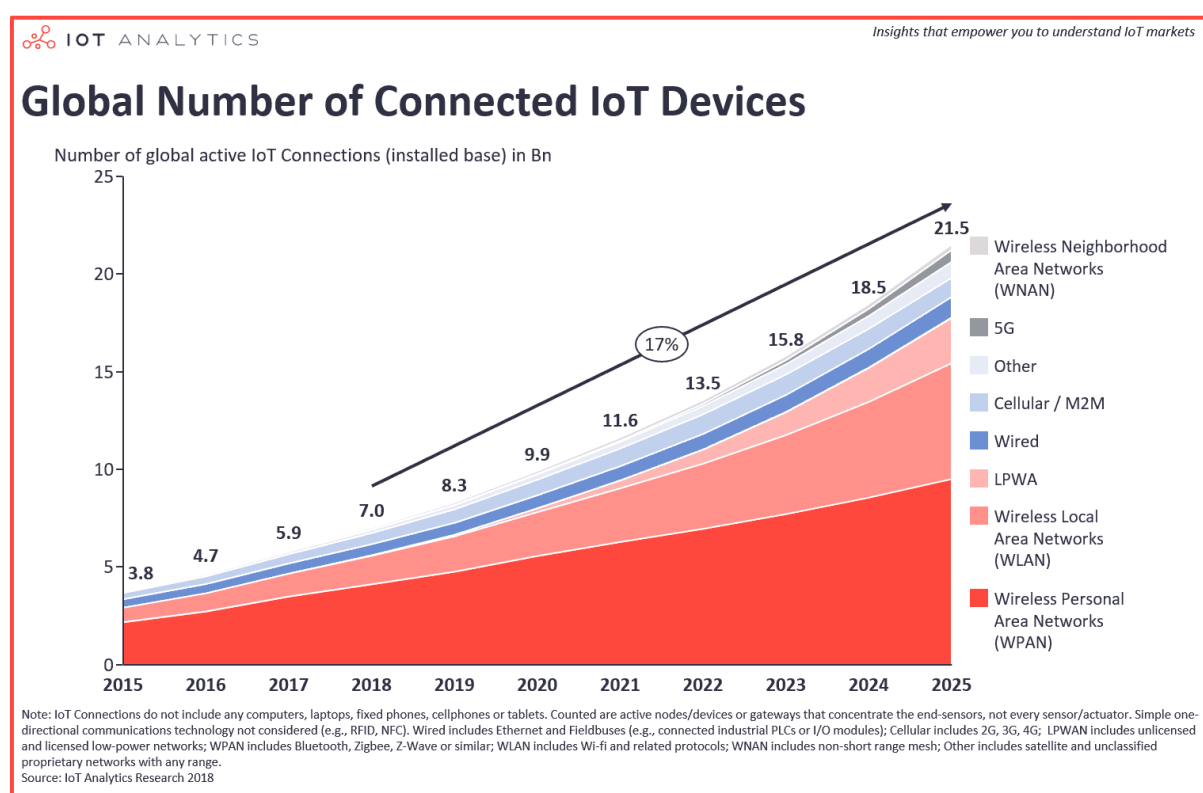
La seguridad en Bluetooth también se ha visto aumentada con un cifrado de 128 bits y la autenticación. Además posee una mayor robustez debido al salto de frecuencia adaptable (AFH) que incluye corrección de errores hacia delante (FEC).

## 2.4.3 Conclusiones

Analizadas las diferentes y principales tecnologías de comunicación inalámbrica actuales que se utilizan en IoT, podríamos resumirlo de la siguiente manera:

Tecnología	LoraWan	ZigBee	Z-Wave	Sigfox	Wifi	Bluetooth
Consumo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Muy bajo
Alcance	Alta	Bajo	Bajo	Alta	Bajo	Muy bajo
Seguridad	Baja	Alta	Baja	Medio	Baja	Baja
Tasa de datos	Baja	Baja	Baja	Muy baja	Muy alta	Baja

Según el portal IoT Analytics [9], analizando el impacto de las diferentes tecnologías de comunicación de 2018, estima un crecimiento de las mismas de un 17 % con proyección hasta 2025. También destaca el crecimiento WPAN y WLAN, estableciéndose como las tecnologías predominantes del sector.



**Fig. 2.63** Gráfica del número total de dispositivos IoT y su estimación hasta 2025 según la tecnología de conexión que utilicen, a partir de los datos de IoT-Analytics [9]



### 3. Fabricantes

A pesar de ser un mercado joven el de la tecnología IoT, ya hay grandes fabricantes especializados en las tecnologías anteriormente nombradas. Actualmente hay una gran competencia entre diferentes marcas para hacerse con el liderazgo, lo que ha traído una gran inversión por parte de gigantes empresariales como Amazon, Google o Samsung entre otros. Sin embargo, parece que no se ha establecido un líder claro.

La razón de este interés acerca del mercado IoT se puede apreciar en sus cifras. Si acudimos a un informe elaborado por IDC [11] en 2016 acerca de la inversión realizada en IoT en el mercado español, las cifras son muy alentadoras mostrando una crecida exponencial.

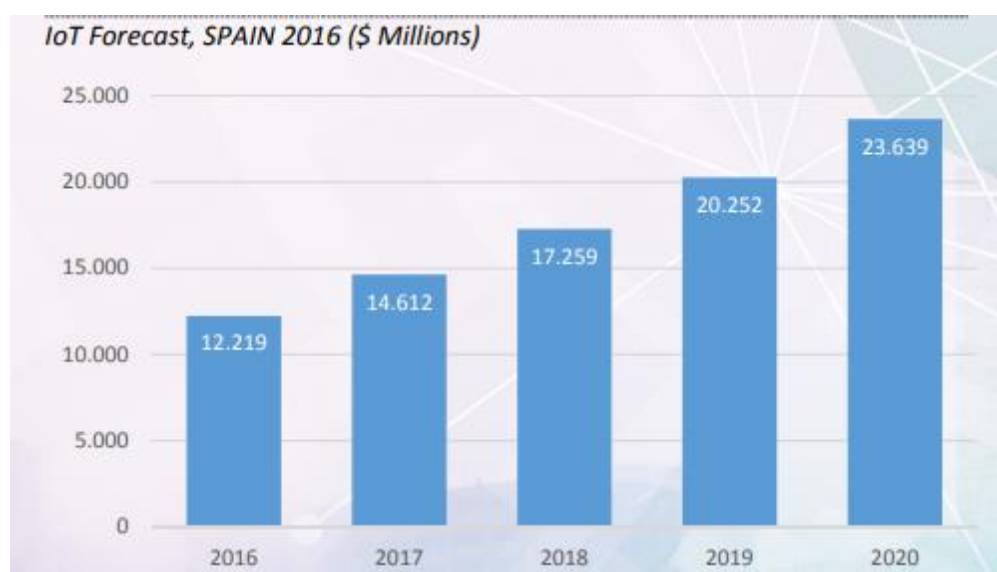
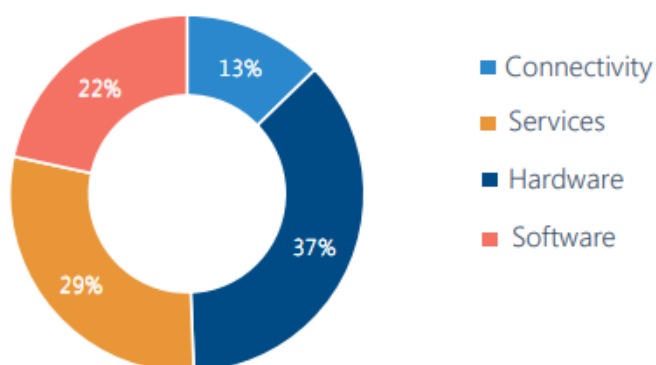


Fig. 3.1 Gráfica del gasto realizado en IoT y su proyección hasta 2020, según IDC [11]

Siguiendo con el informe [11], España conforma el quinto país europeo con mayor gasto únicamente por detrás de Alemania, Reino Unido, Francia e Italia. Pero dicho gasto se reparte de manera no equitativa en sus diferentes necesidades para la creación de los dispositivos. En el mismo informe, se detalla en qué áreas se destina más dinero. Observando como la parte de hardware y servicios se llevan casi el 70% del capital.

*Technology spending Share, Spain 2016***Fig. 3.2** Gráfica del gasto realizado en las diferentes áreas del proceso, según IDC [11]

### 3.1 The Things Network

Surgió como una iniciativa basada en la comunidad con el fin de establecer una red de área amplia de bajo consumo centrada en el Internet de la cosas. Lanzada en 2015 por los holandeses Wienke Giezeman y Johan Stokking ha conseguido en febrero de 2020, aproximadamente 19.000 gateways conectados.

**Fig. 3.3** Logo de empresa The Things Network

Fuente: <https://www.thethingsnetwork.org/>

Más tarde, tras su éxito social establecieron una empresa en la que ofrecen productos y servicios. Entre sus productos destacados se encuentran su gateway basado en LoRaWAN o un arduino UNO para montar fácilmente los sensores y actuadores. Respecto a la parte de servicios, ofrecen un servicio basado en nube en el que registrar tu gateway y unirlo a la red además de subir aplicaciones en las que transmitir los datos.

## 3.2 Digi International

Empresa americana fundada en 1985 como DigiBoard, empezó ofreciendo placas ISA/PCI inteligentes. Con el tiempo, en 1989, fue remodelada y pasó a llamarse en Digi International. En la actualidad, es un gran fabricante del sector IoT. Ofrece servicios de nube de computación, productos para tecnologías inalámbricas y demás hardware entre los que destaca sus microprocesadores o módulos.



Fig. 3.4 Logo de empresa Digi Intertanitolal

Fuente: <https://www.digi.com/>

## 3.3 Z-Wave Alliance

Fue una empresa fundada en 2005 por una agrupación de fabricantes del sector domótico debido a la fragmentación tecnológica del momento que afectaba negativamente a la industria y que amenazaba su supervivencia. Por ello, se unieron con la finalidad de crear un sector fuerte y unificado.

Más tarde, dicho conglomerado de empresas, negociaron con Zensys, empresa creadora del protocolo de comunicación inalámbrica Z-Wave, para aunar su tecnología con sus productos y afianzarse en el mercado. En la actualidad, muchas empresas se han ido uniendo al conglomerado hasta llegar hoy en día a un total de más de 450 empresas en la alianza.



Fig. 3.5 Logo de la alianza de empresas Z-Wave Alliance

Fuente: <https://z-wavealliance.org/>

Respecto a los productos o servicios que ofrecen, cubren prácticamente todo el mercado IoT, convirtiéndose en uno de sus líderes.

### 3.4 Libelium

Dentro del mercado nacional de IoT, nos encontramos con la multinacional tecnológica española Libelium, fundada en 2006 como spin off en la Universidad de Zaragoza. Surgida por la necesidad de establecer unas medidas y productos inalámbricos en un sector, que por aquella época, no había nada asentado.



Fig. 3.6 Logo de la empresa Libelium

Fuente: <http://www.libelium.com/>

Ofrece productos y servicios en la nube. Respecto a lo primero, podemos observar en la figura siguiente como están especializados en la venta de motas, plugins, sensores, gateways, entre otros.

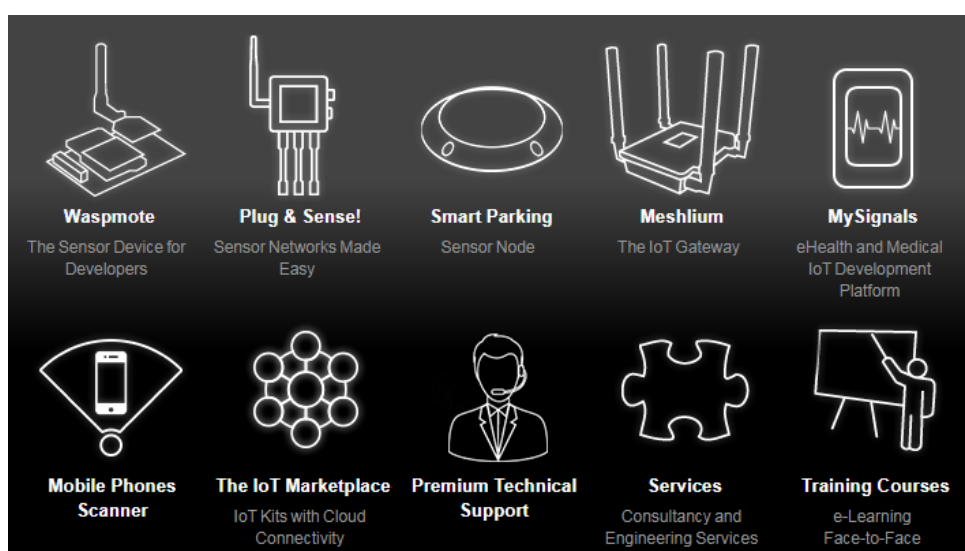


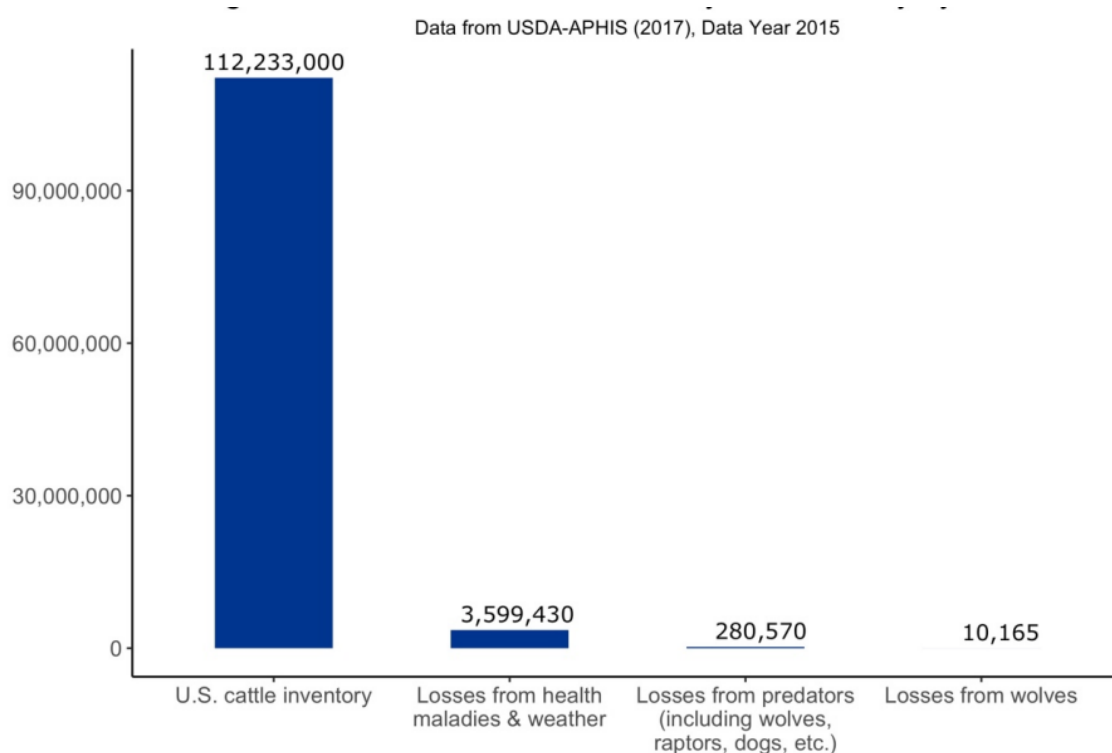
Fig. 3.7 Gama de productos que ofrece la empresa Libelium

Fuente: <http://www.libelium.com/>

## 4. Comportamiento animal

Con el surgimiento del humano como especie dominante relegó a otras especies depredadoras, como zorros, lobos u osos, a un segundo plano que debido al auge de la población humana ha mermado en gran cantidad su espacio natural de caza y obligándoles a cazar a sus presas dentro de zonas de dominio humano. Dichas áreas son zonas ganaderas con presencia de animales para la producción de alimento de consumo humano.

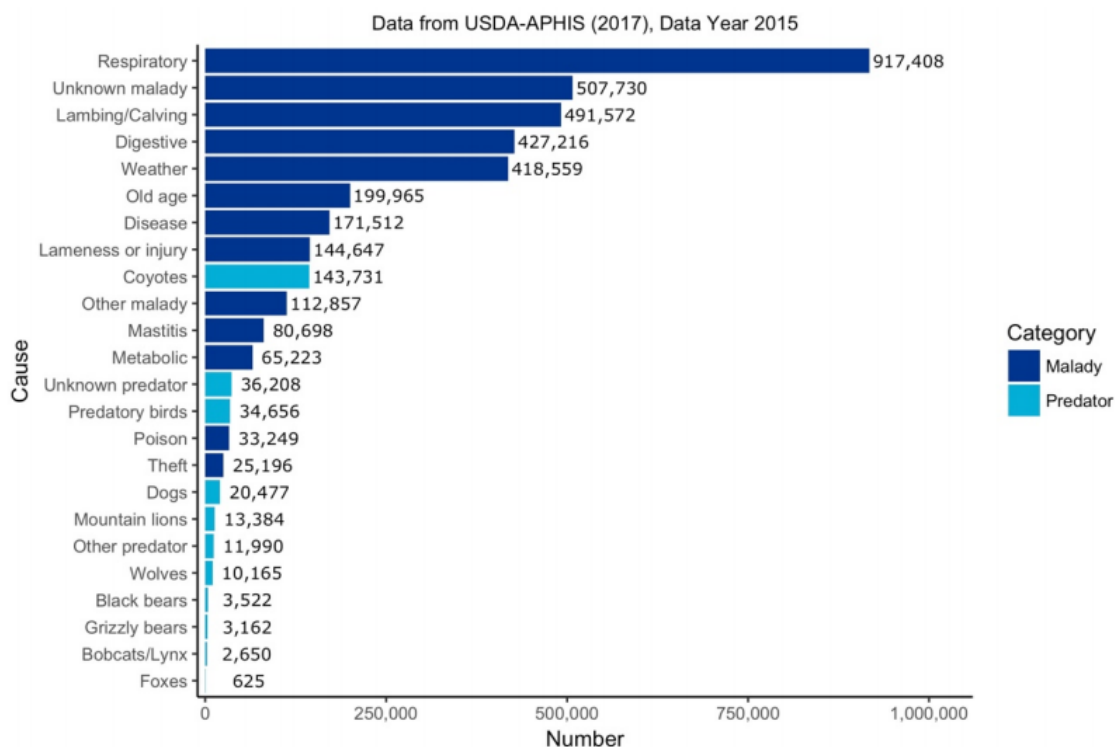
Según un informe del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) [10] del 2015, de los 112 millones de animales censados como ganado 3,6 millones fallecieron por problemas de salud mientras que 280 mil fueron por ataques de depredadores.



**Fig. 4.1** Gráfica del número de animales de ganado en USA y cuántos sufren pérdidas por salud o depredadores por parte de la USDA [10]

Continuando con el análisis realizado por la USDA [10], se detalla los depredadores

más importantes que generan las anteriores pérdidas. Entre los que encontramos los coyotes, perros, osos o zorros entre otros.



**Fig. 4.2** Gráfica de las causas de muerte animal en USA en el año 2015, por la The Humane Society a partir de los datos de la USDA [10]

En territorio nacional, España no posee un registro reciente de los ataques de animales salvajes sobre el ganado pero según Ugama [16], la unión de agricultores, ganaderos y silvicultores de la Comunidad de Madrid, en 2018 la Comunidad de Madrid destinó 154.000 euros para cubrir las pérdidas de los ganaderos, partida económica que en 2003 tan sólo era de 3.000 euros. Esto nos indica el crecimiento que ha tenido en los últimos años los ataques de animales salvajes siendo los lobos, zorros, mangostas, gatos monteses entre los más destacadas.

## 5. Soluciones comerciales

En la ganadería [17], uno de los principales problemas que presenta es el control del ganado y su comportamiento frente a diferentes estímulos. Para controlarlos de manera eficiente, se ha encontrado en la tecnología del internet de las cosas como el principal aliado.

Uno de los estímulos a estudiar es la respuesta del ganado frente a depredadores y actuar en consecuencia para evitar pérdidas. A nivel comercial nos encontramos varios productos con similar función.

Fabricado por Sensowave con la colaboración de SigFox, nos encontramos la Digitalanimal collar. Consiste en un collar que se coloca en el cuello de animales del tipo vacas, ovejas, cabras o caballos con el fin de monitorizar todas las condiciones del animal junto con su localización y enviar esos datos cada 30 minutos a la plataforma que los procesa.



**Fig. 5.1** Vacuno portando el Digitalanimal collar



**Fig. 5.2** Digitalanimal collar para animales

Fuente: <https://digitalanimal.com/>

Cuando se produce la pérdida de algún animal o se sale fuera de los límites marcados, genera una alerta en el dispositivo programado para alertar al dueño.

Esta clase de producto IOT ganadero está bastante desarrollado siendo muchas empresas del sector quienes tienen su propia versión como QuantifiedAG, True North o Starcom Systems.

En el caso de ganado de menor tamaño como es el avícola, hay muy pocas empresas que se dediquen a ello, como puede ser Skov, aunque se centran en su gestión y no tanto en su protección.

Si acudimos al mercado podemos encontrar utensilios comerciales que sirven como ahuyentadores de determinados tipo de animal.

Empezamos el análisis con el ahuyentador nocturnos de zorros, lobos y jabalís Foxlight. Este ahuyentador comercial utiliza 9 bombillas LE de gran potencia y diversos colores que se orientan indistintamente que se activan según ciertos parámetros dando la impresión de la presencia de un humano.



**Fig. 5.3** Ahuyentador de depredadores  
Foxlight por el día

Fuente: [https://www.gallagher.eu/en\\_dk/fox-light](https://www.gallagher.eu/en_dk/fox-light)



**Fig. 5.4** Ahuyentador de depredadores  
Foxlight por la noche

Fuente: <https://www.foxlightsaustralia.com.au/>

Continuando el análisis, encontramos el Avanzado ahuyentador de Zorros PestBye. A diferencia del anterior modelo, este emite sonidos a una frecuencia determinada que afecta a los zorros consiguiendo que huyan mientras que para los humanos es inaudible. El mecanismo se activa a raíz de un sensor de movimiento infrarrojo pasivo.





**Fig. 5.5** Ahuyentador de zorros ultrasónico

Fuente: <https://www.amazon.es/Pestbye%C2%AE-repelentes-hiperresonancia-temporizador-conductas/dp/B06VSP873S>

## 6. Montaje teórico

Para el montaje de este prototipo, utilizaremos 2 sensores y 2 actuadores que se montarán sobre una placa de arduino UNO e irán conectados a una pasarela, The Things Gateway, que los conectará con el servidor.

La idea del prototipo consiste, como se indica en la figura 6.1, en detectar al depredador antes de que llegue a la presa poniendo el dispositivo en la entrada al cercado. Una vez se detecte la presencia del mismo, esos datos pasarán a la nube a través de nuestro gateway. En la nube se procesarán los datos dados mediante la aplicación que habremos programado y subido y las instrucciones serán devueltas, otra vez a través del gateway, hasta el dispositivo que activarán los actuadores encendiendo y mostrando una potente luz y un sonido alto.

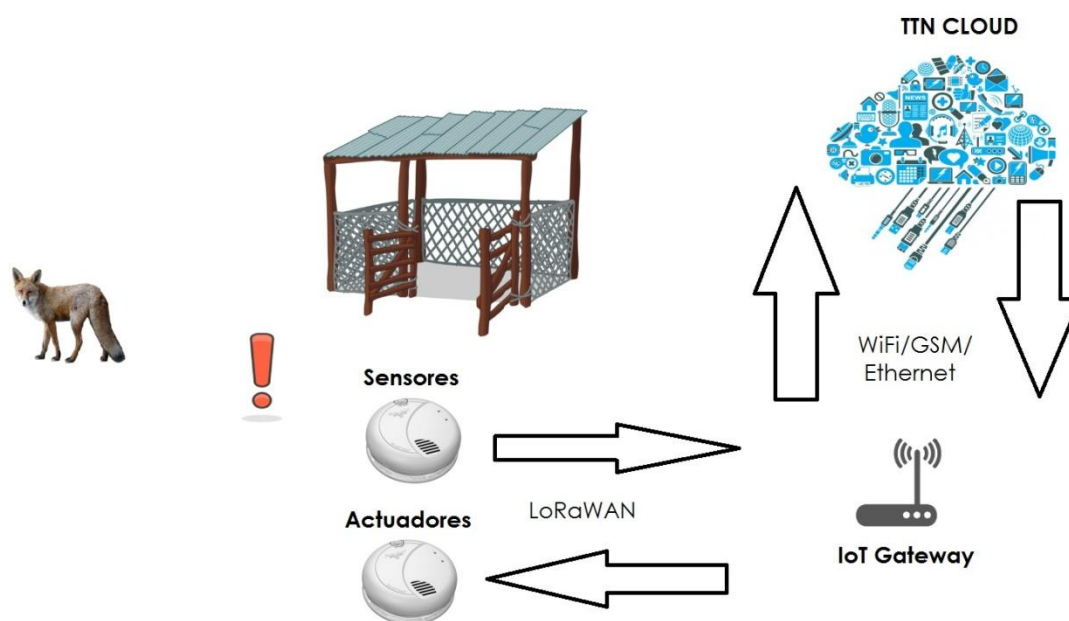


Fig. 6.1 Esquema del funcionamiento del prototipo

Esto lo realizamos con el fin de que el depredador asocie la luz y el sonido con la presencia de un humano y hulla despavorido. De tal manera, conseguimos proteger los bienes ganaderos y no herimos a ningún animal salvaje.

Este prototipo está pensado para proteger corrales pequeños, como gallinas, y con el fin de ahuyentar pequeños depredadores, como zorros o mangostas. La disposición pensada ideal para su correcto funcionamiento es al lado de la entrada y salida del recinto, como podemos observar en la siguiente imagen, en el cuál se encuentran los animales a proteger con el fin de detectar a los depredadores antes de que pudieran ingresar en el recinto y generar la señal de respuesta sin necesidad de alarmar a los animales que se encuentran guarecidos en el recinto.



Fig. 6.2 Esquema del posicionamiento del prototipo y su área de acción

La idea del proyecto, sería convertirlo en un dispositivo comercial de fácil acceso para el usuario final. Que a partir de unas instrucciones dadas en el propio producto el cliente sea capaz de instalarlo donde él desee y configurarlo a su gusto. De tal manera, prescindiríamos de trabajadores a la hora de la instalación procediendo a un aumento de ganancia económica con el fin de que fuera viable.

## 6.1 Materiales

### 6.1.1 Sensores

En el caso de los sensores, utilizamos dos. En primer lugar, el sensor ultrasónico resistente al agua JSN-SR04T, el cual nos permite medir distancias de entre 25 centímetros hasta los 4 metros, aproximadamente.

El esquema de su cableado es el siguiente. Posee cuatro cables, siendo el rojo y el negro, los de alimentación y tierra, respectivamente. Mientras que el azul sería el gatillo y el verde el de eco.

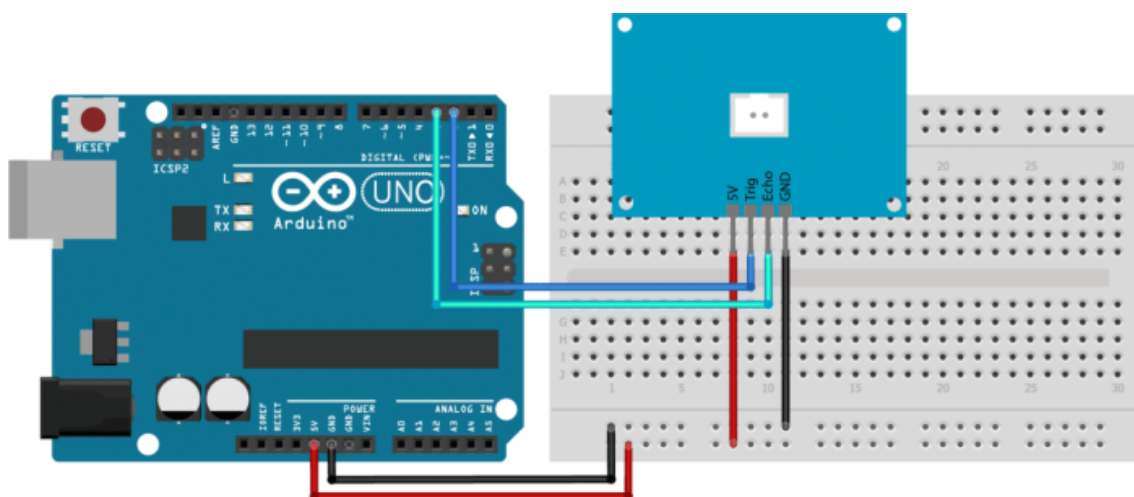


Fig. 6.3 Esquema de conexiones del sensor ultrasónico sobre arduino

Para su configuración, utilizaríamos el software que nos provee arduino y aplicaríamos el código de la siguiente imagen. En primer lugar definimos las variables que utilizaremos que serán los pines de trig y eco que hemos colocado en el 3 y 2, respectivamente. También definiremos las variables de distancia y duración que utilizaremos posteriormente. En la parte de configuración, pondremos el pin de Eco como input (entrada) mientras que el de Trig como output (salida). De esta manera ya sabemos por donde entran y salen los diferentes datos.

En la parte del bucle, desactivamos el Trig, la salida de los datos, con el fin de resetearlo cada vez que iniciemos el bucle. Luego lo activamos para volver a desactivarlo, todo esto con un tiempo entre cada uno de 5 microsegundos. Por último, mostramos por pantalla los datos recibidos.

```
sketch_may31a$  
1 // Define Trig and Echo pin:  
2 #define trigPin 2  
3 #define echoPin 3  
4 // Define variables:  
5 long duration;  
6 int distance;  
7 void setup() {  
8   // Define inputs and outputs  
9   pinMode(trigPin, OUTPUT);  
10  pinMode(echoPin, INPUT);  
11  
12  // Begin Serial communication at a baudrate of 9600:  
13  Serial.begin(9600);  
14 }  
15 void loop() {  
16   // Clear the trigPin by setting it LOW:  
17   digitalWrite(trigPin, LOW);  
18  
19   delayMicroseconds(5);  
20   // Trigger the sensor by setting the trigPin high for 10 microseconds:  
21   digitalWrite(trigPin, HIGH);  
22   delayMicroseconds(10);  
23   digitalWrite(trigPin, LOW);  
24  
25   // Read the echoPin. pulseIn() returns the duration (length of the pulse) in microseconds:  
26   duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
27  
28   // Calculate the distance:  
29   distance = duration*0.034/2;  
30  
31   // Print the distance on the Serial Monitor (Ctrl+Shift+M):  
32   Serial.print("Distance = ");  
33   Serial.print(distance);  
34   Serial.println(" cm");  
35  
36   delay(100);  
37 }
```

Fig. 6.4 Programación en Arduino para el sensor ultrasónico

Los resultados que nos daría este código se puede ver en la pantalla de simulación, obteniendo lo siguiente y comprobando su funcionamiento.

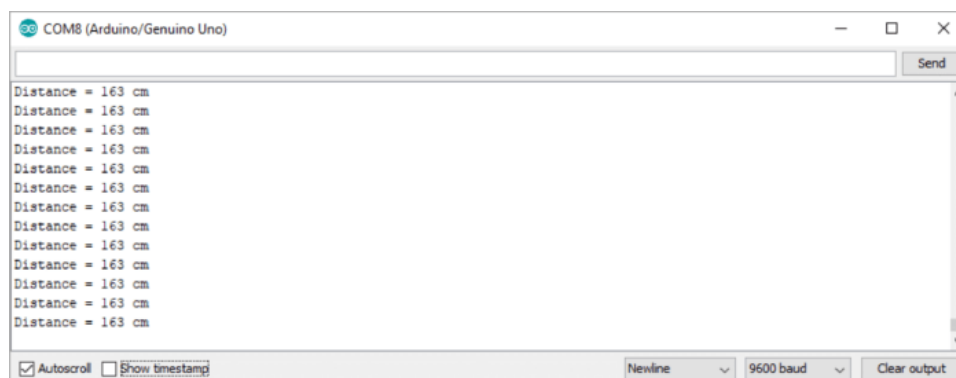


Fig. 6.5 Respuesta del sistema planteado y programado en Arduino



El segundo sensor que utilizaríamos, sería un sensor de movimiento o también conocido como PIR del fabricante DFRobot. El objetivo de la utilización de este sensor es captar las señales infrarrojas de los cuerpos humanos o animales y reconocerlo como movimiento cambiando su estado.

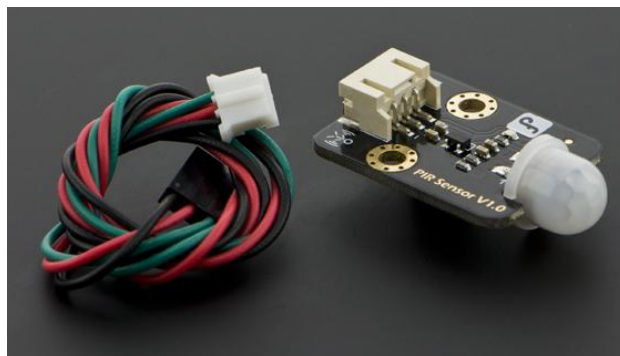


Fig. 6.6 Sensor de movimiento PIR utilizado de la marca DFRobot

Fuente: <https://www.dfrobot.com/product-1140.html>

El esquema que seguiríamos para su colocación en la placa de arduino es similar al anterior sensor pero menos complejo, ya que, únicamente posee una entrada de datos. Partiendo del esquema de la siguiente figura, el cable rojo representa la alimentación, el gris al de tierra y el verde al de datos.

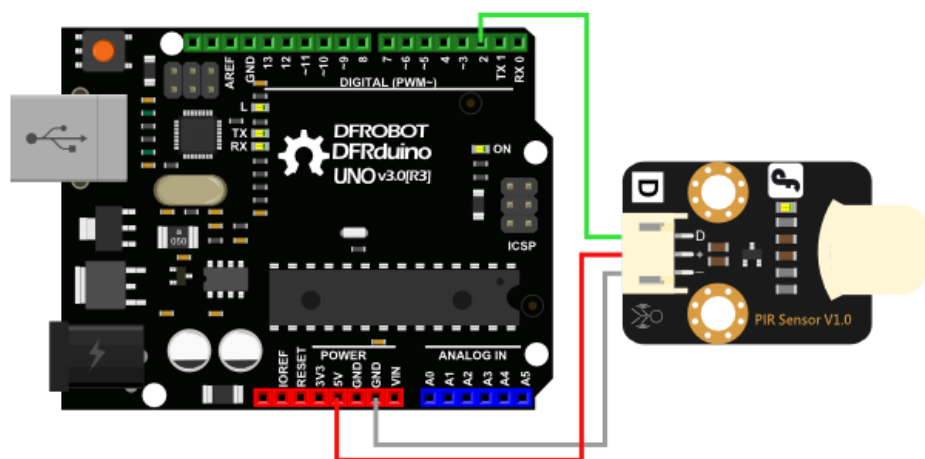


Fig. 6.7 Esquema de conexiones del sensor de movimiento PIR sobre arduino

Respecto a su configuración, también lo haríamos a través del software de arduino como hemos hecho anteriormente y que se muestra en la imagen siguiente. Primero definimos el pin del sensor que será la entrada de datos y además incorporamos un segundo pin que utilizaremos como indicador. En la configuración, como hemos hecho anteriormente, definimos la entrada y salida de cada pin. Posteriormente, en el bucle inicializamos el sensor y le damos un estado. Con un bucle condicional IF, si el estado es 1, es decir, ha cambiado al que tenía asignado previamente, significa que hay alguien en el área del sensor y por pantalla saldrá el mensaje puesto: "Hay alguien en el área!!!". Si por el contrario no se produce un cambio de estado del original, es decir, se mantiene en cero acudirá a la segunda parte de la condición sacando por pantalla el segundo mensaje que es: "Todo correcto, sin alteraciones".

```
sketch_may31a $
1  byte sensorPin = 2;
2  byte indicator = 13;
3
4  void setup()
5  {
6      pinMode(sensorPin, INPUT);
7      pinMode(indicator, OUTPUT);
8      Serial.begin(9600);
9  }
10
11 void loop()
12 {
13     byte state = digitalRead(sensorPin);
14     digitalWrite(indicator, state);
15     if(state == 1) Serial.println("Hay alguien en el area!!!");
16     else if(state == 0) Serial.println("Todo correcto, sin alteraciones");
17     delay(500);
18 }
```

Fig. 6.8 Programación en Arduino para el sensor de movimiento PIR

## 6.1.2 Actuadores

Para este prototipo inicial utilizamos dos actuadores eléctricos, un zumbador o buzzer de la marca DFROBOT y una luz led.

En el caso del zumbador, se trata de un dispositivo que emite sonidos que podemos configurar mediante la frecuencia que le ordenemos. Posee un rango de voltaje de 3.3 a 5V, lo que encaja perfectamente con nuestro arduino. Además incorpora cable de fácil conectado para GND o tierra (negro), alimentación (rojo) y datos (verde).



Fig. 6.9 Zumbador modulo v2 de la marca DFRobot

Fuente: <https://www.dfrobot.com/product-84.html>

Un resumen de su disposición de conexión con el arduino sería tal que así.

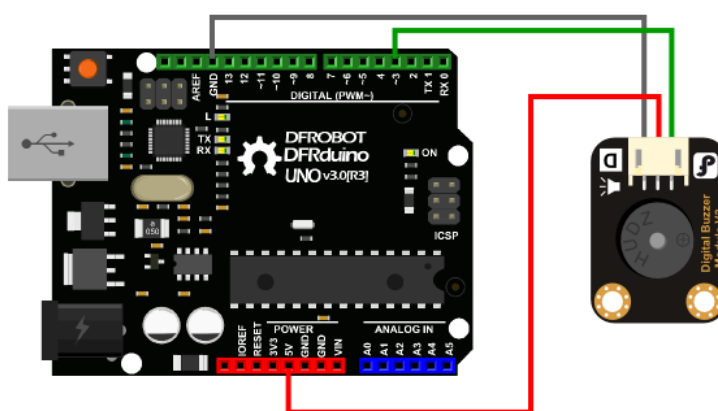


Fig. 6.10 Esquema de conexiones del zumbador sobre arduino



Posteriormente, su configuración la haríamos a través del software Arduino. En el código de la siguiente imagen, inicializamos asignando a la variable `buzzPin` el número que le hemos puesto en la placa de arduino, que en nuestro caso es el 3.

En la configuración, asignamos como salida el pin 3, ya que, recordemos que se trata de un actuador, es decir, obedecer órdenes. En el bucle, asignamos en primer lugar que haga un sonido muy alto, que posteriormente pare durante un segundo y que haga el mismo proceso pero con el sonido bajo.

```
sketch_may31a $
1  int buzzPin = 3;    //Connect Buzzer on Digital Pin3
2
3  void setup()
4
5  {
6      pinMode(buzzPin, OUTPUT);
7  }
8
9  void loop()
10 {
11     digitalWrite(buzzPin, HIGH);
12     delay(1);
13     digitalWrite(buzzPin, LOW);
14     delay(1);
15 }
```

Fig. 6.11 Programación en Arduino para el zumbador

Para el otro actuador, consiste en una luz led. El proceso sería similar al del buzzer pero teniendo en cuenta que debemos ocupar otro pin diferente del arduino y a la hora de realizar la programación asignarle dicho pin.

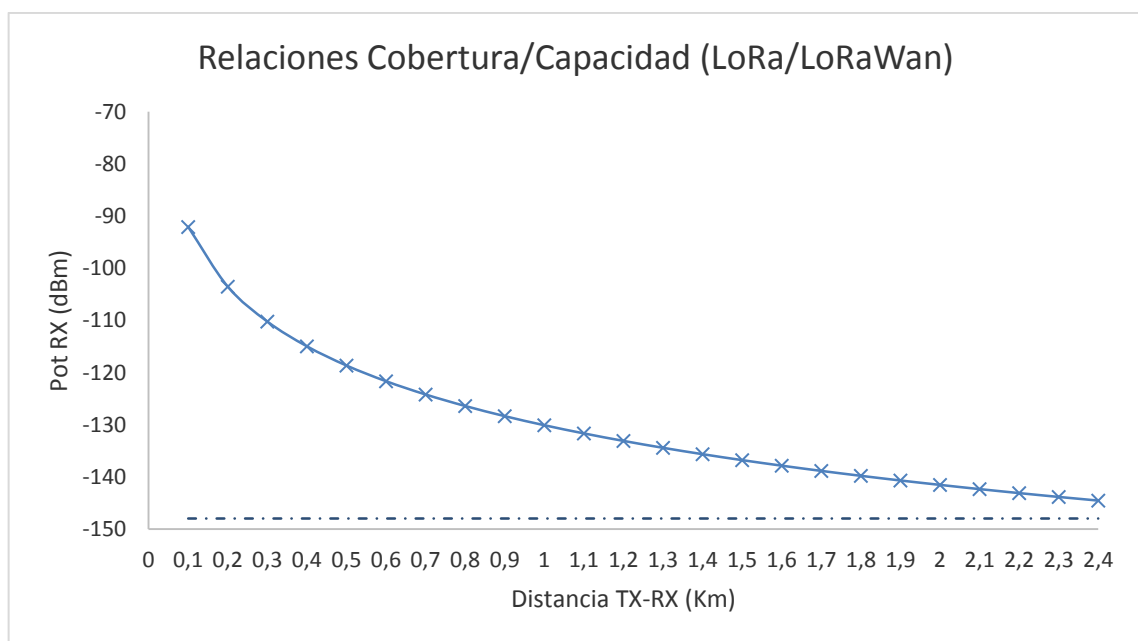
### 6.1.3 Gateway

Uno de los parámetros relevantes desde el punto de vista del diseño de un sistema inalámbrico es la estimación del rango de cobertura que presenta. Dicho rango de cobertura se establece como la distancia máxima entre transmisor y receptor, en función de la sensibilidad del receptor y la potencia del transmisor. La sensibilidad del receptor es a su vez, función de la tasa binaria de transmisión y del nivel de modulación y codificación. De esta manera, el nivel de sensibilidad es variable, dando lugar al concepto de relaciones de cobertura/capacidad.

La estimación del rango de cobertura viene determinada fundamentalmente por las pérdidas de radiopropagación en el balance de enlace. Dichas pérdidas vienen dadas por múltiples fenómenos, tales como obstrucción del canal, pérdidas de penetración, difracción o dispersión en elementos tales como vegetación o rugosidad en las fachadas de los edificios. La estimación de dichas pérdidas es una tarea compleja, fuertemente dependiente del entorno bajo estudio. En este sentido, los métodos de cálculo de pérdidas se pueden clasificar en función de su nivel de precisión. Los más precisos son de tipo determinista, basados en técnicas electromagnéticas de onda completa, como elementos finitos o diferencias finitas en dominio temporal. En este grupo también se incluyen técnicas basadas en una aproximación de óptica geométrica y teoría uniforme de la difracción. Dichas técnicas son precisas, pero computacionalmente costosas. En el otro extremo están las técnicas basadas en el empleo de caracterizaciones de tipo empírico/estadístico, en el que se obtienen expresiones basadas en modelos de tipo regresivo. Dichos modelos son menos costosos computacionalmente pero tienen menos precisión y dependen de manera específica del entorno de trabajo.

Con el fin de poder obtener una valoración inicial del radio de cobertura para el sistema bajo estudio en este trabajo, se ha realizado un análisis

basado en el empleo de un modelo de tipo empírico/estadístico, dado que el escenario de trabajo es a priori un entorno de tipo rural. Cabe destacar que, en función del escenario concreto, se puede extender el trabajo actual con simulaciones mediante técnicas de tipo determinista o validación mediante medidas. Como ejemplo, se presenta en la figura X la estimación de nivel de potencia recibida en función de la distancia, empleando un modelo Okumura-Hata, comparado contra la sensibilidad nominal de -148 dBm de un dispositivo LoRa Dragino. Se observa que, gracias al valor de sensibilidad que tiene el receptor, se mantiene un nivel de conectividad viable por encima de 2km de distancia, por lo que es una solución válida para nuestra aplicación.



**Fig. 6.12** Estimación de radio de cobertura, empleando un modelo tipo Okumura-Hata, para un transceptor LoRa/LoRaWAN en función de la distancia entre transmisor y receptor

Una vez analizada la cobertura disponible y que podemos utilizar el tipo de tecnología de conectividad LoRa/LoRaWAN nos decantamos para la creación de la pasarela por el producto "The Thing Gateway". Se trata de un dispositivo de la empresa The Things Network, referente en el mundo IoT y especializado en tecnología LoraWan, que permite la conectividad a

internet de sensores u otros dispositivos a través de estos de una manera muy sencilla.



**Fig. 6.13** The Things Gateway de la marca The Things Network

Fuente: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/gateway/>

La elección de este dispositivo que trabaja con LoRaWAN, frente a otros con diferentes tecnologías de comunicación se debe por varios motivos.

En primer lugar, queríamos una tecnología de baja potencia, es decir, que no utilice mucha potencia de la batería de manera constante. A su vez, en nuestro diseño necesitamos transmitir pocos datos y únicamente cuando sucedan incidentes que lo activen.

En segundo lugar, necesitábamos una tecnología capaz de recorrer largas distancias, ya que las zonas ganaderas se encuentran muy lejos de las urbes urbanas y de conexiones estables.

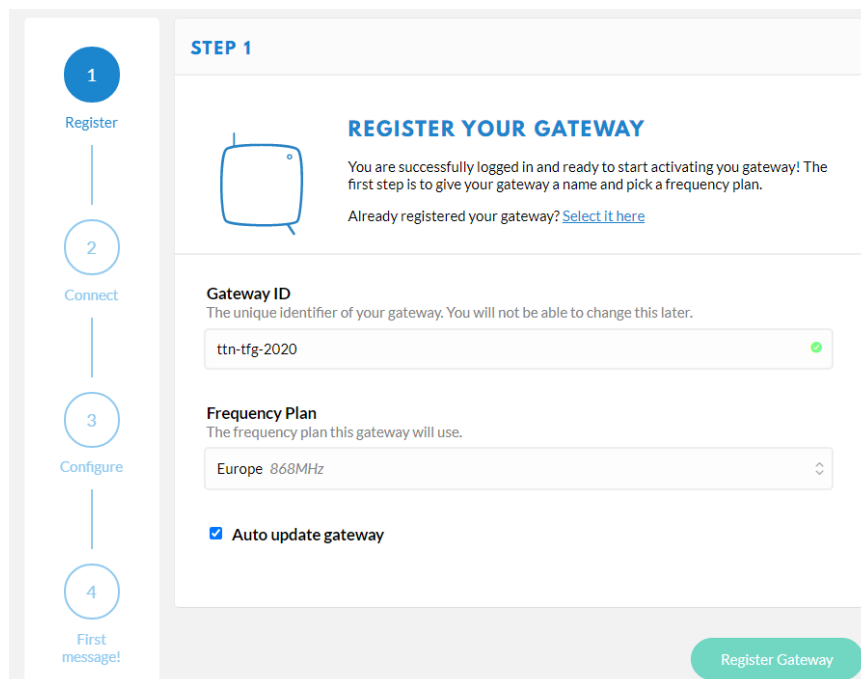
Por último, buscábamos una tecnología con recorrido y estabilidad. Si bien es cierto, que la red LoRa o NB-IOT podían encajar en nuestro diseño, ninguno de los comentados posee mucho soporte y estándares mundiales. Es por todo ello que decidimos decantarnos por la tecnología LoRaWAN. El dispositivo elegido de TTN posee capacidad para conectar miles de

nodos y está construido en un mismo dispositivo que únicamente necesita de electricidad para su funcionamiento. Este dispositivo opera en dos frecuencias, a 868 MHz que está reservada para Europa y a 915 MHz que es para los Estados Unidos de América.

La razón por la que elegimos esta pasarela fue por su sencillez y capacidad, aunque cabe indicar también que debido a las circunstancias no se pudo desarrollar el gateway sobre raspberry como era la idea inicial.

Su instalación y configuración es muy sencilla, ya que el dispositivo viene en una pieza y únicamente hace falta darle electricidad y enroscar la antena que te proveen. Una vez montado, procedemos a su instalación a través de la página oficial de TTN, en la cual previamente nos habremos registrado.

Una vez registrado, vamos a consola y posteriormente a Gateway para proceder al registro. Llegados a este punto debemos asignar el nombre del ID que queramos y la frecuencia a la que trabajaremos recordando que nos encontramos en Europa y por tanto, debe ser de 868 MHz.



**STEP 1**

**REGISTER YOUR GATEWAY**

You are successfully logged in and ready to start activating your gateway! The first step is to give your gateway a name and pick a frequency plan.

Already registered your gateway? [Select it here](#)

**Gateway ID**  
The unique identifier of your gateway. You will not be able to change this later.

ttn-tfg-2020

**Frequency Plan**  
The frequency plan this gateway will use.

Europe 868MHz

☒ Auto update gateway

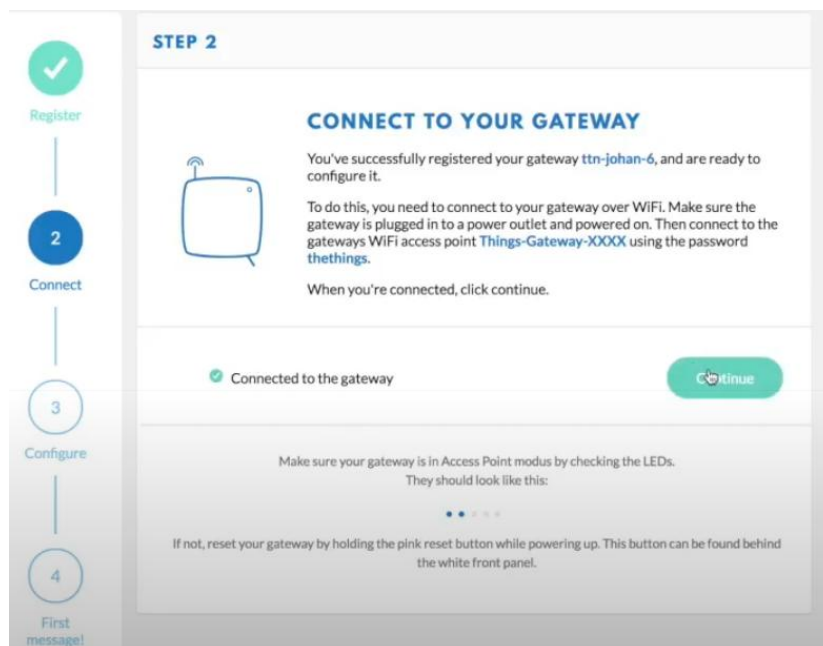
Register Gateway

**Progress:**

- 1 Register
- 2 Connect
- 3 Configure
- 4 First message!

Fig. 6.14 Paso 1 del panel de configuración para el Gateway en TTN

A partir de aquí, llegamos a la segunda pestaña y el paso más complejo, ya que deberemos conectarlo al wifi y posteriormente enviarle la información conectándonos al dispositivo. Si todo va de manera óptima obtendremos lo siguiente:



**STEP 2**

**CONNECT TO YOUR GATEWAY**

You've successfully registered your gateway **ttn-johan-6**, and are ready to configure it.

To do this, you need to connect to your gateway over WiFi. Make sure the gateway is plugged in to a power outlet and powered on. Then connect to the gateway's WiFi access point **Things-Gateway-XXXX** using the password **thethings**.

When you're connected, click continue.

Connected to the gateway

Continue

Make sure your gateway is in Access Point mode by checking the LEDs. They should look like this:

• • • • •

If not, reset your gateway by holding the pink reset button while powering up. This button can be found behind the white front panel.

**Progress:**

- 1 Register
- 2 Connect
- 3 Configure
- 4 First message!

Fig. 6.15 Paso 2 del panel de configuración para el Gateway en TTN

En el tercer paso, deberemos indicar como va a acceder nuestro gateway a internet. Tendremos dos posibilidades, a través del wifi o del cable ethernet. Si elegimos la ultima opción, no será necesario configurar nada pero en nuestro caso, para crear un gateway más dinámico, elegimos la opción del wifi. En este caso, únicamente deberemos escoger el wifi al que se conectará de manera automática y le agregamos la contraseña del mismo para que pueda acceder sin restricciones, quedando de tal manera, recibiendo un mensaje afirmativo si todo ha salido correctamente.

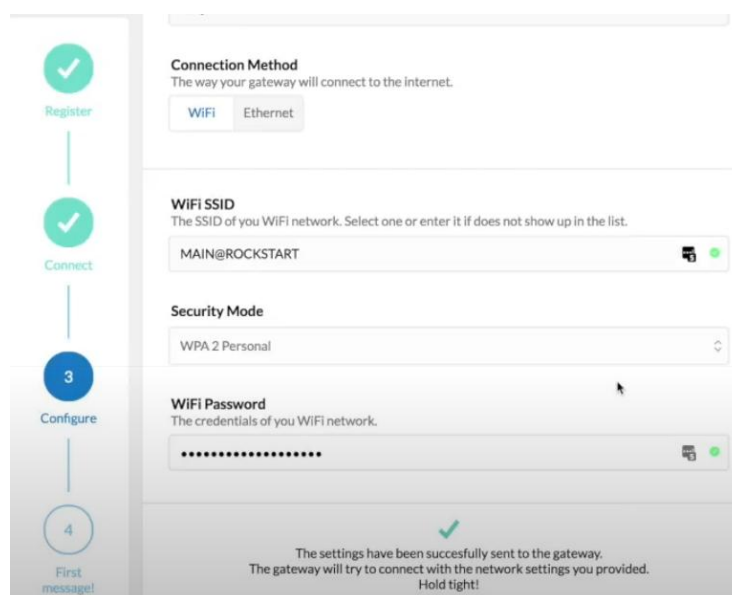


Fig. 6.16 Paso 3 del panel de configuración para el Gateway en TTN

El último paso es el más sencillo y automático, ya que el propio ordenador establecerá la conexión para terminar la configuración de manera automática. Una vez terminado el proceso que suele demorarse unos minutos nos saldrá un mensaje afirmativo como el siguiente.

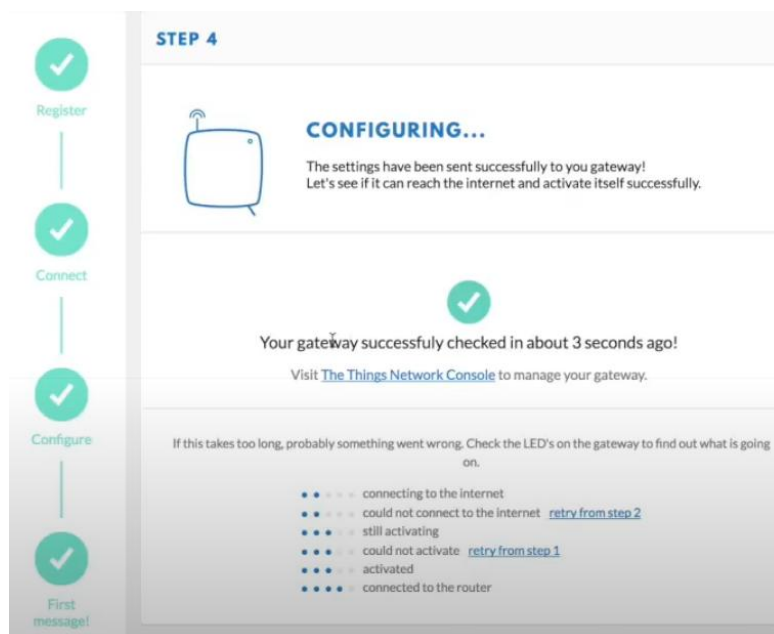


Fig. 6.17 Paso 4 del panel de configuración para el Gateway en TTN

Si todo va bien, nos llevará hasta la pantalla final donde podremos chequear diversas opciones de nuestro gateway. Pero para ver que funciona correctamente tendremos que ver que hay comunicación de paquetes como el siguiente caso.

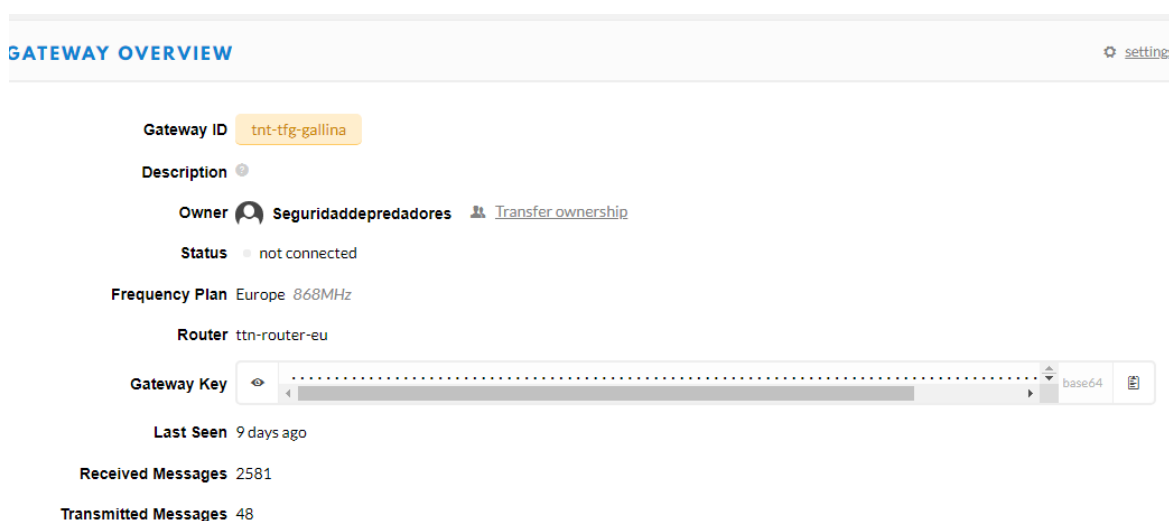


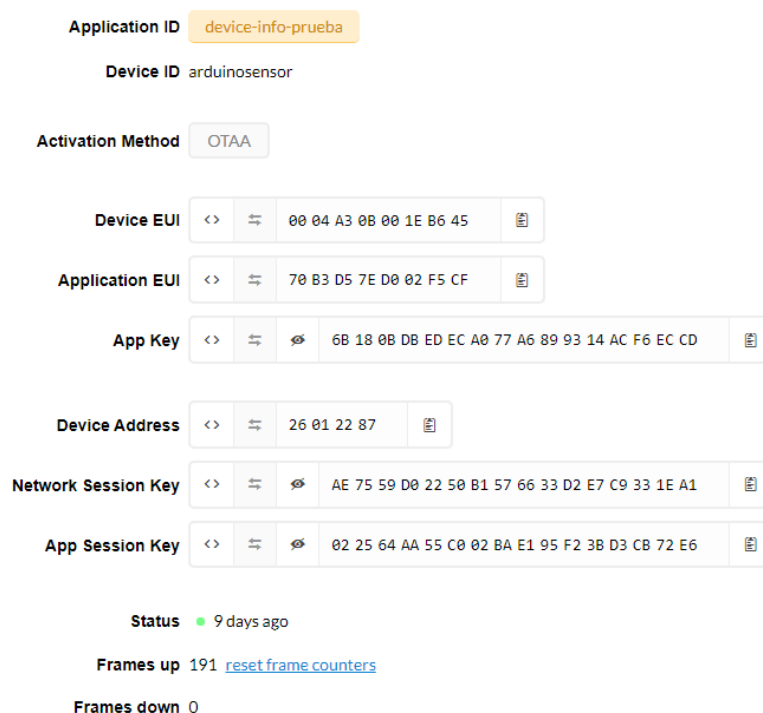
Fig. 6.18 Panel de consola del Gateway. Verificación de instalación óptima



## 6.2 Aplicación y pruebas

En este apartado explicaremos el código implementado para aunar todos los sensores y actuadores mencionados en los anteriores apartados en un arduino UNO.

En primer lugar, hemos añadido las claves para poder conectar la aplicación con el gateway y que se posibilite la conectividad servidor-arduino. Estas claves las extraemos al registrar nuestra aplicación en TTN y enlazarla con nuestro gateway obteniendo la siguiente página de descripción. Teniendo que copiar la Application EUI y la App Key.



The screenshot shows the TTN console interface for an application named 'device-info-prueba'. The 'Device ID' is 'arduinosenzor' and the 'Activation Method' is 'OTAA'. The following fields are displayed with their corresponding hexadecimal values and copy icons:

- Device EUI:** 00 04 A3 0B 00 1E B6 45
- Application EUI:** 70 B3 D5 7E D0 02 F5 CF
- App Key:** 6B 18 0B DB ED EC A0 77 A6 89 93 14 AC F6 EC CD
- Device Address:** 26 01 22 87
- Network Session Key:** AE 75 59 D0 22 50 B1 57 66 33 D2 E7 C9 33 1E A1
- App Session Key:** 02 25 64 AA 55 C0 02 BA E1 95 F2 3B D3 CB 72 E6

Below these fields, the status is shown as '9 days ago'. The 'Frames up' count is 191, with a link to 'reset frame counters'. The 'Frames down' count is 0.

Fig. 6.19 Panel de consola de la aplicación para el Gateway

Una vez realizado esto y añadidas todas las librerías que necesitaremos, ya podemos entrar a definir las variables que utilizaremos a lo largo del código. Definimos las variables nombradas en los anteriores apartados según el pin al que hayamos puesto su cable de datos en el arduino.

## SENSORES

```

1  #include <TheThingsNetwork.h>
2  #include <NewPing.h>
3  #include <MedianFilter.h>
4  #include <Wire.h>
5  #include <MedianFilter.h>
6
7
8  // Set your AppEUI and AppKey
9  const char *appEui = "70B3D57ED002F5CF";
10 const char *appKey = "6B180BDBEDECA077A6899314ACF6ECCD";
11
12 #define loraSerial Serial1
13 #define debugSerial Serial
14 #define TRIGGER_PIN 7 // Arduino pin tied to trigger pin on the ultrasonic sensor
15 #define ECHO_PIN 6 // Arduino pin tied to echo pin on the ultrasonic sensor.
16 #define MAX_DISTANCE 450 // Maximum distance we want to ping for (in centimeters). !
17
18 #define LED_RED 13
19 int buzzPin = 10;
20
21 // Replace REPLACE_ME with TTN_FP_EU868 or TTN_FP_US915
22 #define freqPlan TTN_FP_EU868
23
24 TheThingsNetwork ttn(loraSerial, debugSerial, freqPlan);
25
26 //Indicamos donde poner el pin del PIR
27 byte sensorPin = 2;
28 byte indicator = 13;
29
30 NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of pins and ma:
31
32 MedianFilter filter(31,0);

```

Fig. 6.20 Programación en arduino.

En la área de configuración, debemos marcar cuales son entradas y cuales salidas. Además añadimos un showStatus para saber cómo está la conexión cada vez que realiza el código y un join para saber si ha sido exitosa. Posteriormente, llamamos a la función Message.

```

34
35 void setup()
36 {
37
38   pinMode(sensorPin, INPUT);
39   pinMode(indicator, OUTPUT);
40   pinMode(buzzPin, OUTPUT);
41   pinMode(LED_RED, OUTPUT);
42   loraSerial.begin(57600);
43   debugSerial.begin(9600);
44
45   // Wait a maximum of 10s for Serial Monitor
46   while (!debugSerial && millis() < 10000)
47     ;
48
49   debugSerial.println("-- STATUS");
50   ttn.showStatus();
51
52   debugSerial.println("-- JOIN");
53   ttn.join(appEui, appKey);
54
55   ttn.onMessage(message);
56
57 }

```

Fig. 6.21 Programación en arduino.

En el bucle, definimos el funcionamiento de los sensores, utilizando lo visto anteriormente. Por último, con la función `ttn.sendBytes(payload, sizeof(payload))`, enviamos los datos al servidor ttn para que la función `message` actúe devolviendo los datos al arduino y de ahí a los actuadores.

```

58
59 void loop()
60 {
61   debugSerial.println("-- LOOP");
62
63   //SENSOR PIR
64   byte state = digitalRead(sensorPin);
65   digitalWrite(indicator, state);
66   if (state == 1) Serial.println("ALGUIEN HA SIDO VISTO!!");
67   else if (state == 0) Serial.println("TODO BIEN, MI SEÑOR");
68
69
70   unsigned int o, uS = sonar.ping(); // Send ping, get ping time in microseconds (uS).
71
72   filter.in(uS);
73   o = filter.out();
74   Serial.print("Ping: ");
75   Serial.print(o / US_ROUNDTRIP_CM); // Convert ping time to distance in cm and print result (0 = outside set distance range)
76   Serial.println("cm");
77
78
79   //Subimos los datos a ttn
80   byte payload[2];
81   payload[0] = state;
82   payload[1] = o;
83
84   ttn.sendBytes(payload, sizeof(payload));
85
86   delay(1000);
87 }

```

Fig. 6.22 Programación en arduino.

Para finalizar el código, según el payload enviado por parte del bucle generamos una condición IF por lo que cuando reciba los valores "00" se active la luz y el sonido del zumbador, mientras que si no cambia de valor y por tanto no hay ningún animal que se detecte, se desactivarán.

```

88
89 void message(const uint8_t *payload, size_t size, port_t port)
90 {
91
92     if (payload[0] == "00")
93     {
94         digitalWrite(LED_RED, HIGH);
95         digitalWrite(buzzPin, HIGH);
96     }
97     else
98     {
99         digitalWrite(LED_RED, LOW);
100        digitalWrite(buzzPin, LOW);
101    }
102 }

```

Fig. 6.23 Programación en arduino.

Tras realizar pruebas, pasando por delante de los sensores, los resultados impresos son los siguientes:

```

11:33:16.978 -> ALGUIEN HA SIDO VISTO!!
11:33:16.978 -> Ping: 46cm
11:33:16.978 -> Sending: mac tx uncnf 1 0163
11:33:16.978 -> Response is not OK: no_free_ch
11:33:16.978 -> Send command failed
11:33:17.985 -> -- LOOP
11:33:17.985 -> ALGUIEN HA SIDO VISTO!!
11:33:17.985 -> Ping: 59cm
11:33:17.985 -> Sending: mac tx uncnf 1 012F
11:33:17.985 -> Response is not OK: no_free_ch
11:33:17.985 -> Send command failed
11:33:19.020 -> -- LOOP
11:33:19.020 -> ALGUIEN HA SIDO VISTO!!
11:33:19.020 -> Ping: 59cm
11:33:19.020 -> Sending: mac tx uncnf 1 012F
11:33:19.020 -> Response is not OK: no_free_ch
11:33:19.020 -> Send command failed
11:33:19.996 -> -- LOOP
11:33:19.996 -> TODO BIEN, MI SEÑOR
11:33:20.042 -> Ping: 159cm
11:33:20.042 -> Sending: mac tx uncnf 1 0097

```

Fig. 6.24 Respuesta del sistema

## 6.3 Presupuesto

Para el prototipo explicado hemos utilizado dos sensores, uno por 4.90 \$ y otro por 13.60\$, es decir, la parte de obtención de sensores han sido 18.50 \$ del presupuesto.

Posteriormente, hemos obtenido dos actuadores de la marca DFRobot por un montante total de 3.60 \$, el cual consiste en un zumbador por 1.90 \$ y un led por 1.70\$. Para aunar sensores y actuadores en un dispositivo, utilizamos un arduino UNO de la marca TTN con un precio de 40 \$.

	Fabricante	Unidades	Precio
<b>Sensor de movimiento PIR</b>	DFRobot	1	4.90 \$
<b>Sensor ultrasónico resistente al agua JSN-SR04T</b>		1	13.60 \$
<b>Modulo Buzzer</b>	DFRobot	1	1.90 \$
<b>Modulo LED digital rojo</b>	DFRobot	1	1.70 \$
<b>The Things UNO</b>	The Things Network	1	40 \$
<b>The Things Gateway</b>	The Things Network	1	300 \$
<b>Precio Total</b>			<b>362.10 \$</b>

Además, hemos añadido al presupuesto el gateway utilizado de la marca TTN por 300 \$. De tal manera el presupuesto total para el prototipo es de 362.10 \$. Cabe destacar el hecho que el dispositivo de alerta y evasión de depredadores tiene un costo de materiales de sólo 62.10 \$.

El presupuesto se dispara un 483% al añadir un gateway que dependiendo de la zona donde se encuentre el cliente, puede que sea o no necesario, ya que pueden haber otros que permitan la conectividad.

Por último, no hemos añadido mano de obra para su instalación, ya que , como hemos comentado anteriormente, la idea es crear un producto comercial con instrucciones detalladas para que el cliente sea totalmente capaz de instalarlo y de tal manera ahorrar dinero para la empresa y abaratar el precio del producto final.

## 7. Conclusiones

En esta memoria, se ha realizado el estudio exhaustivo de los componentes de un sistema IoT, analizando sus diferentes partes físicas hasta las diferentes tecnologías que lo componen. También se ha estudiado brevemente el comportamiento depredador-presa con el fin de crear un sistema más eficaz. A nivel teórico ha quedado demostrado el proyecto que se pretendía hacer.

También es destacable el presupuesto utilizado, pues el prototipo como tal tendría un costo de 62 \$. El Gateway es una inversión inicial que podría soportar miles de nodos por lo que con uno se daría conectividad a cientos de prototipos.

Si bien es cierto, que debido a la excepcionalidad de este año 2020 no se ha podido cumplir el objetivo práctico de realizar las pruebas con los animales en un entorno real y controlado con el fin de obtener resultados verídicos del prototipo, es un proyecto que puede ser continuado y mejorado con resultados positivos.

## 8. Líneas futuras

Los siguientes pasos a llevar a cabo en el proyecto sería principalmente la experimentación. Poner a prueba el sistema en un entorno real ganadero, en primer lugar testeándolo con pequeños depredadores como el zorro o las mangostas. Además habría que vigilar como afecta también el sistema a los animales que pretendemos proteger, porque si les afecta de manera negativa deberemos cambiar ciertos parámetros.

A su vez, se debería realizar un estudio en zorros, ya que nos estamos enfocando en una primera fase en este depredador, de cómo y cuanto afecta los estímulos para que huya. Las soluciones comerciales son muy generalistas y únicamente ponen un altavoz sin saber a qué frecuencias puede hacerles tener más o menos miedo o afectarles. También sería interesante descubrir más métodos de evasión eficaces contra los depredadores. Algunos sistemas utilizan chorros de agua, como si de un aspersor se tratará, luces estroboscópicas o incluso orina de macho alfa de la especie en cuestión con el fin de evitar que otros machos entren en ese territorio.

Además de incorporarles funciones extras que lo destaquen frente a la competencia existente. Una de las funciones más destacables que podría añadirse sería una app para móvil de cara a los clientes, además de la incorporación de una cámara que cuando el sensor de movimiento detecte una posible alerta, esta se activará y mandara fotos a la app para que el ganadero pudiera ver en vivo si se trata de una falsa alarma o debe de actuar.

Tras comprobar su funcionamiento y efectividad en pequeños corrales contra depredadores pequeños, el siguiente paso básico sería aumentar el sistema para que pueda proteger vallados de tamaño medio-grande y contra depredadores de mayor tamaño como lobos u osos.





Fig. 8.1 Sistema de redes sensoriales y su radio de acción

Crear un sistema de redes sensoriales capaz de proteger grandes perímetros que se interconexionen entre ellos con el fin de generar una respuesta automática y en gran escala contra los comentados grandes depredadores.

## 9. Bibliografía

- [1] IDC. (2019, enero 3). IDC Forecasts Worldwide Spending on the Internet of Things to Reach \$745 Billion in 2019, Led by the Manufacturing, Consumer, Transportation, and Utilities Sectors.  
Acceso en:  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44596319>
  
- [2] Gartner. (2019, julio 16). Hype Cycle for the Internet of Things, 2019.  
Acceso en:  
<https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-1YMHE59R&ct=200316&st=sb>
  
- [3] Internet World Stats. (2020, marzo 3). World Internet Users Statistics and 2020 World Population Stats.  
Acceso en:  
<https://www.internetworldstats.com/stats.htm>
  
- [4] Scully, P. (2018, febrero 22). The Top 10 IoT Segments in 2018 – based on 1,600 real IoT projects – IoT Analytics.  
Acceso en:  
<https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>
  
- [5] CEDOM. (2019, junio). Estudio de mercado: Sector de la Domótica e Inmótica.  
Acceso en:  
<https://static.casadomo.com/media/2020/01/cedom-estudio-mercado-2018.pdf>
  
- [6] Statista. (2019, junio 4). Estimated stock of Connected Cars worldwide\* from 2017 to 2023 in million [Gráfico].  
Acceso en:  
<https://www.statista.com/statistics/885768/total-connected-cars-worldwide/>

- [7] TESLA. (2020, abril). Q1 2020 Update TESLA.  
Acceso en  
<https://tesla.gcs-web.com/static-files/c1723af4-ffda-4881-ae12-b6f3c972b795>
- [8] AGFUNDER. (2020, abril). 2020 European Agri-FoodTech.  
Acceso en  
<https://research.agfunder.com/2020/2020-european-agri-foodtech-investment-report.pdf>
- [9] IoT-Analytics. (2018, agosto). State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating.  
Acceso en  
<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>
- [10] The Humane Society of the United States . (2019, marzo). Government data confirm that wolves have a negligible effect on U.S. cattle & sheep industries .  
Acceso en  
[https://www.humanesociety.org/sites/default/files/docs/HSUS-Wolf-Livestock-6.Mar\\_.19Final.pdf](https://www.humanesociety.org/sites/default/files/docs/HSUS-Wolf-Livestock-6.Mar_.19Final.pdf)
- [11] IDC. (2017, julio). Internet of Things in Transport: uses cases and trends .  
Acceso en  
<https://custom.cvent.com/1E8AD1B771DA4B029B78FF1784749EF5/files/b3aeb07ff2ad45a5b69f20bb277e398f.pdf>
- [12] AENOR. (2016). UNE 178201.  
Acceso en  
<https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une?c=N0056504>

- [13] FOUNOUN, A., & HAYAR, A. (2018). Evaluation of the concept of the smart city through local regulation and the importance of local initiative .  
Acceso en  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8656933>
- [14] Naciones Unidas. (2019, julio). Población.  
Acceso en  
<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- [15] Sehrawat, D., & Singh Gill, N. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors.  
Acceso en  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8862778>
- [16] Moncloa. (2019, julio 16). La Comunidad de Madrid pasó de pagar 3.000 euros a 154.000 por ataques de lobos.  
Acceso en  
<https://www.moncloa.com/madrid-ataques-lobos/>
- [17] ERDEN , H., KAYA, I., & Çamaşircioğlu, E. (2015). Livestock Monitoring System.  
Acceso en  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7248081>